



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sami Peltonen

# Ilmanvaihdon ylläpidon kehityssuunnitelma sairaalaympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikka  
Insinöörityö  
19.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sami Peltonen Ilmanvaihdon ylläpidon kehityssuunnitelma sairaalaympäristössä 62 sivua + 3 liitettä 19.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen huoltopäällikkö Mika Ahia
<p>Opinnäytetyön aihe on ilmanvaihdon ylläpidon kehityssuunnitelma. Aihe syntyi toimeksiantajan antaneen yrityksen tahdosta kehittää ilmanvaihdon ylläpitoa ja toisaalta selvittää ylläpidon nykytilannetta. Ilmanvaihdon ylläpitoa ollaan organisoimassa uudelleen ja työn tavoitteena on myös olla ohjaamassa perustettavan ilmanvaihtotiimin työtä antamalla työkaluja sisäympäristön parantamiseen ja sairaala toiminnan häiriöiden vähentämiseen.</p> <p>Työssä selvitetään aikaisempaa yksityiskohtaisemman huollon mahdollisuuksia vaikuttaa sisäympäristöön varmistamalla suunnitelmien mukainen ilmamäärä, ilman lämpötila ja ilman suodatus. Tarkemmalla huollon sisällöllä ja huomioiden raportoinnilla pyritään ilman laatuun vaikuttamisen lisäksi vähentämään sairaala toiminnalle aiheutuvaa haittaa ja häiriöitä.</p> <p>Tutkimus suoritettiin toimintatutkimustyyppisesti haastatteleamalla huoltoasentajia, heidän esimiehiään ja asiantuntijoita aiheen eri puolilta ja etsimällä syy-seuraussuhteella uusia painopistealueita ylläpitoon ja huollon sisältöön. Väliarviointia suoritettiin testihuollolla ja laitteiston kunnon kartoituksella. Lähdekirjallisuutena käytettiin lvi-suunnittelua, huoltoa ja sisäympäristöä koskevaa kirjallisuutta, sairaalailmanvaihtoa käsitteleviä tutkimuksia ja voimassaolevia standardeja sekä viranomaismääräyksiä.</p> <p>Työssä käydään läpi, mistä hyvä sisäympäristö ja siihen sisältyvä sisäilmasto koostuu ja miten ilmanvaihtokoneen heikentyneet suorituskykytekijät voivat siihen vaikuttaa ja miksi ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien mukainen toiminta on tärkeää varmistaa. Tuloksena syntyi uutta ohjeistusta huoltoon ja raportointiin sekä ilmanvaihdon osalta uudet huollon tehtävälistat lisättäväksi huoltokirjaan. Lopussa pohditaan vielä huolloissa kerätyn tiedon parempaa hyödyntämistä pitkän aikavälin suunnitelman kautta.</p>	
Avainsanat	sisäilma, huolto, ilmanvaihto, kehitystyö, sairaalailmanvaihto

Author Title	Sami Peltonen Maintenance with Focus on Indoor Air Quality
Number of Pages Date	xx pages + 3 appendices 19 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Mika Ahia, Chief Maintenance Officer
<p>The aim of final year project was to develop ventilation maintenance in a Hospital organization. The issue arose from the will of the commissioning company to develop its ventilation maintenance towards a more proactive practices. In addition to influencing air quality, more accurate maintenance content and reporting was to reduce the inconvenience and disruptions to hospital operations.</p> <p>The study was conducted as an action research interview with service technicians, their supervisors, and experts in various areas of the topic. The source literature was HVAC design, maintenance and indoor air literature, hospital ventilation studies and current standards, as well as official regulations.</p> <p>The work established what a good indoor climate consists of, how the degraded performance factors of a ventilation unit can affect it, and why it is important to ensure that the ventilation works as planned. The result was a new set of maintenance and reporting instructions, as well as new maintenance instructions that were added to the service book. In the end, the use of the data collected during maintenance through the PTS system will be considered better.</p>	
Keywords	Indoor air, Maintenance, Hospital ventilation

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sisäilmaston vaatimukset sairaalassa	4
2.1	Lämpöolosuhteet	5
2.1.1	Lämpöviihtyvyys	6
2.1.2	Vedon tunne	7
2.2	Ilman laatu	9
2.2.1	Pienhiukkaset	9
2.2.2	Suodatus	10
2.2.3	Kemialliset ja biologiset epäpuhtaudet	13
2.3	Ilman kosteus	13
2.4	Ääniolot	14
2.5	Tuloilman määrä	15
2.6	Sisäilmaluokittelu	15
2.7	Tilakortit, HUS Kiinteistöt	17
3	Ilmanvaihtojärjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät	18
3.1	Ilmanvaihtokoneen suorituskyky	18
3.2	Ilmanvaihtojärjestelmän säädön vaatimukset	19
3.3	Ilmanjaon vaikutus	20
3.4	Ilmanvaihtojärjestelmien puhtauden vaatimus	21
3.5	Ilmanvaihtojärjestelmän tiiviyden vaatimus	24
3.6	Energiatehokkuus	25
4	Ylläpidon kehittäminen tutkimuksen kulku	26
4.1	Tiedonkeruu ja eteneminen	27
4.2	Väliarviointi	29
5	Ylläpidon uutta ohjeistusta	31
5.1	Vaatimukset laadukkaalle ylläpidolle	32

5.2	Huollon muutokset lyhyesti	34
5.3	Huollon toteutus	35
5.4	Kuukausihuollot	35
5.5	Ilmanvaihtokone määräaikaishuolto	36
5.5.1	Ulkoilmasäleiköt	36
5.5.2	Ulkoilmapelti, palautusilmapelti	36
5.5.3	Ulkoilmakammio	37
5.5.4	Suodattimet	37
5.5.5	Puhaltimet	38
5.5.6	Lämmöntalteenotto	38
5.5.7	Viemäröinti	40
5.5.8	Lämmityspatteri	40
5.5.9	Jäähdytyspatteri	40
5.5.10	Toimiyksiköt ja säätöventtiilit	41
5.5.11	Jäähdytys	41
5.5.12	Anturit	42
5.5.13	Automaation koestus	44
6	Erikoistilat ja painesuhteet	44
6.1.1	Leikkaussalit	46
6.1.2	Lääkevalmistustilat	47
6.1.3	Eristystilat	49
7	Kanaviston puhdistus	50
7.1	Puhdistustarpeen arviointi ja puhdistus	50
7.2	Päätelaitteiden puhdistus	54
8	Pitkän aikavälin suunnitelma PTS	55
9	Tuleva standardi	57
10	Luotettavuus	58
11	Päätelmät	59
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1. Tehtäväluettelot huoltokirjaan liitettäväksi Excel tiedosto	

Liite 2. Puhdastilavaatetuksen pukeminen ja riisuminen

Liite 3. Tyypillisiä ilmanvaihtokoneen vikoja

## Käsitteitä

huonelämpötila	tarkoittaa ilman lämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä
ilmanvaihto	sisäilman laadun ylläpitäminen ja parantaminen huoneen ilmaa vaihtamalla
ilmastointi	koneellisesti toimiva tulo- ja poistojärjestelmä, jossa tuloilma on koneellisesti jäähdytettyä ja lämmitettyä sekä suodatettua. Käsite voi sisältää myös kosteuden hallinnan.
ilmavuotoluku	kuvaava rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyttä. Nykyisin käytetty ilmavuotoluku $q_{50}$ ilmaisee, kuinka paljon vuotoilmaa (yksikkönä $\text{m}^3/\text{h}$ ) virtaa ulkovaipan vuotoreittien kautta sisään tai ulos, sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero ollessa 50 Pa. Aiemmin käytössä ollut ilmavuotoluku $n_{50}$ ilmaisi vuotoilma- virran [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] suhteessa rakennuksen tilavuuteen [ $\text{m}^3$ ].
kiinteistönhoito	säännöllistä toimintaa, jolla pidetään kiinteistön olosuhteet halutulla tasolla. Se sisältää kiinteistönhuollon ja teknisten järjestelmien hoidon, viallisten kohteiden korjaamisen, siivouksen, jätehuollon ja ulkoalueiden hoidon.
korvausilma	koneellisen tai painovoimaisen poiston poistaman ilman tilalle alipaineen vaikutuksesta virtaavaa ilmaa
kunnossapito	kiinteistön ominaisuuksien säilyttämistä joko uusimalla tai korjaamalla vialliset ja kuluneet osat siten, että kohteen suhteellinen laatutaso ei olennaisesti muutu
ODA	ulkoilman laatuluokat, jossa luokittelu tapahtuu hiukkaspitoisuuden mukaan

oleskelutila	asumiseen tai työskentelyyn tarkoitettua huonetilaa, joka on tarkoitettu yli 30 minuutin yhtäjaksoiseen oleskeluun
oleskeluvyöhyke	se osa huonetilasta, jossa sisäilmastovaatimukset on suunniteltu toteutuviksi ja jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä ulko- tai sisäseinästä tai vastaavasta kiinteästä rakennuksen osasta
operatiivinen lämpötila	ihmisen tuntema kokonaislämpötila
savupiippuvaikutus	syntyy sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron ja tiheyseron vaikutuksesta. Aiheuttaa korkeissa rakennuksissa epätoivottua ja hallitsematonta ilman liikettä.
sisäilma	rakenteiden rajaamalla alueella oleva ilma
sisäilmasto	sisäilman ja lämpöolosuhteiden muodostama kokonaisuus
sisäympäristö	sisäilman, lämpöolosuhteiden, valaistuksen, ääniympäristön ja ergonomisten tekijöiden muodostama kokonaisuus. Sisäympäristö käsittää myös muita tekijöitä, kuten käytettävyys, esteettömyys, turvallisuus, psykososiaaliset näkökulmat sekä monet ympäristöön liittyvä viihtyvyystekijät, kuten esimerkiksi värit ja materiaalit. Sisäympäristöstä puhutaan, kun viitataan ei-teollisiin toimintaympäristöihin, joita ovat toimistot, koulut, päiväkodit, muut julkiset rakennukset ja asunnot
suunniteltu käyttöikä	ilmanvaihtojärjestelmälle, sen osalle tai komponentille asetettua käyttöikävaatimus, jonka määrittelee rakennushankkeeseen ryhtyvä, rakennuttaja tai suunnittelija.
tuloilma	huoneeseen johdettava ilma (erit. koneellisissa tulo- ja poistojärjestelmissä)



tuloilmalaite	koneellisen ilmanvaihdon ns. pääte-elin, jonka kautta tuloilma johdetaan huoneeseen. Puhekielessä käytetään yleisesti nimitystä tuloilmaventtiili.
tuulenpaine	tuulesta johtuva painerasitus seinäpintaan. Kokonaispaine rakennuksen seinäpinnoilla vaihtelee tuulen nopeudesta ja suunnasta riippuen. Tuulenpaine vaikuttaa suoraan seinäpinnoilta mitattavaan sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon. Vaikutus voi hiljaisellakin tuulennopeudella olla suurempi kuin ilmanvaihtojärjestelmällä aikaansaatava staattinen paine-ero.
vuotoilma	rakennukseen sen seinien, ikkunoiden ja muiden ulkovaipan rakojen kautta virtaava suodattamaton ulkoilma.
ylläpito	kiinteistönhoidon ja kunnossapidon muodostama kokonaisuus, johon kuuluu rakennuksen kunnon jatkuva seuranta ja korjaustarpeiden selvittäminen ja korjaaminen. Toiminnalla säilytetään kiinteistön olosuhteet halutulla tasolla.

## 1 Johdanto

HUS Kiinteistöjen ylläpitämissä Meilahden sairaala-alueen kiinteistöissä oli 2018 haasteita sisäympäristöön liittyvien olosuhteiden kuten lämpöolosuhteiden hallinnassa, mutta tutkimuksien mukaan suomalaisissa sairaaloissa esiintyy myös muunlaisia sisäympäristö- ja sisäilmasto-ongelmia kohtuullisen paljon (Reijula 2005; Holopainen ym. 2012). Tekniikan jatkuva lisääntyminen kasvattaa esimerkiksi syntyviä lämpökuormia, kun toisaalta kärsitään tilanahtaudesta, jolloin tehokkaamman ja enemmän tilaa vievän ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen ei aina ole mahdollista. Opinnäytetyön aihe on ilmanvaihdon ylläpidon kehityssuunnitelma, jossa selvitetään mahdollisuuksia parantaa koetua sisäympäristöä ilmanvaihdon ylläpitoa kehittämällä.

Tavoitteena on aikaisempaa laajemmalla ja tarkemmalla huollolla varmistaa järjestelmien suunnitelman mukainen toiminta ja muuttaa samalla ylläpitoa ennakoidumpaan suuntaan. Löytämällä aikaisempaa suurempi osa kuluneista, vikaantuneista ja käyttökänsä päässä olevista ilmanvaihtojärjestelmien komponenteista vähennetään myös sairaalatoiminnalle aiheutuvia ennakoidettomia häiriöitä.

HUS Kiinteistöt perustaa ilmanvaihtotiimin vastaamaan Meilahden sairaala-alueella sijaitsevien rakennusten ilmanvaihdon toimivuudesta. Opinnäytetyön on tarkoitus olla myös ohjaamassa perustettavan ilmanvaihtotiimin työtä antamalla työkaluja sisäympäristön parantamiseen ja ilmanvaihdon ylläpitoon yleisesti. Ilmanvaihtotiimin on tarkoitus huolehtia tulevaisuudessa kokonaisvaltaisesti alueen ilmanvaihdon ja sisäilmaston ylläpidosta, kun huolto on aiemmin jakaantunut usealle eri taholle.

Ilmanvaihdon tehtävä on turvata hyvä, terveellinen ja turvallinen sisäilmasto. Ilmanvaihtojärjestelmän on oltava riittävän puhdas, jotta halutut hygieniaolosuhteet toteutuvat. Laitteiston on toimittava oikein ja suunnitellusti, jotta terveellisen sisäilmaston pohjana olevat ja riittävän suuret tuloilmamäärät toteutuvat. Ilmanvaihtojärjestelmän on kyettävä myös luomaan halutut lämpöolosuhteet riittävän tarkasti, jotta miellyttävä työympäristö ja häiriötön sairaalatoiminta toteutuu.

Ylläpidon tehtävänä on pitää järjestelmä toimimassa suunnitellusti ja varmistaa siten olosuhteiden säilyminen haluttuina. Tärkeä osa ylläpitoa on oikean ohjauksen ja asetusten varmistaminen. Ilmanvaihdon automatiikka ja ohjaukset lisääntyvät jatkuvasti ja tällöin yksikin väärä asetusarvo tai epätarkka anturi voi sekoittaa ilmanjaon ja järjestelmän toiminnan ja vaarantaa samalla terveellisen sisäympäristön.

Työssä käydään yksityiskohtaisesti läpi sisäilmaston tekijöitä ja vaatimuksia sairaala ympäristössä. Ilmanvaihtovaihtojärjestelmän suorituskykyvaatimuksista selvitetään järjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät eli mitkä kaikki asiat ylläpidon on pidettävä kunnossa ja toiminnassa, jotta järjestelmällä pystytään luomaan halutut olosuhteet.

Usein suunnitellusti toimiva ilmanvaihto on myös energiatehokas. Kaikilta osin tavoitteet eivät kohtaa, vaan esimerkiksi tehokkaampi ilmansuodatus nostaa energiakuluja ja energiatoimina tehdyt aikaohjelmat voivat myös vaikuttaa haitallisesti ilmanlaatuun ja painesuhteisiin. Työn näkökulma on hyvän työ- ja sisäympäristön luominen ja samalla sairaalatoiminnan häiriöitä vähentäen. Tähän aiheeseen on ollut mahdollista syventyä hieman enemmän, kun jo valmiiksi kohtuullisen tutkittuja energiatehokkuusnäkökulmia rajataan pois. Sisäympäristössä puhuttaessa keskitytään olosuhteisiin, joihin ilmanvaihdolla pystytään vaikuttamaan eikä mahdollisten rakenteellisten puutteiden vaikutuksia sisäilmaan käsitellä kuin vuotoilmavirtojen suhteen pintapuolisesti.

Toimintatutkimuksena tehdyssä tutkimusosassa selvitettiin, minkälaisia vikoja järjestelmistä yleisimmin havaitaan tällä hetkellä ja mitkä suorituskykytekijät tarvitsevat eniten ylläpidolta huomiota, jotta halutut olosuhteet toteutuvat ja pystytään samalla vähentämään ylläpidon sairaalatoiminnalle aiheuttamia häiriöitä. Toimintatutkimus toteutettiin haastattelemalla henkilökuntaa ilmanvaihdon ylläpidon eri puolilta ja tekemällä havaintoja järjestelmän kunnosta tutustumalla useisiin Kolmiosairaalan, Tornisairaalan ja parkkihallin ilmanvaihtokoneisiin. Väliarviointia tehtiin hallintorakennuksen ilmanvaihtokoneeseen HAHTK04 aikaisempaa yksityiskohtaisemmalla ja tarkemmalla huollolla.

Tulokset-osioissa käydään ensin läpi, minkälaisia muutoksia ulkoisiin tekijöihin kuten huoltokirjaan tai ylläpidettäviin dokumentteihin olisi tehtävä, jotta huoltoasentajilla on tarvitsemansa ohjaus ja työkalut. Käydään myös läpi, minkälaisia muutoksia aikaisempaan

määräaikaishuollon sisältöön on tulossa ja lopuksi komponenttikohtaisesti kerrotaan tehtävät toimenpiteet. Työn liitteenä ovat huoltokirjaan liitettävät uudet tehtävälistat. Tuloksissa käydään myös läpi raportointia ja mietitään, kuinka pitkän aikavälin suunnitelmaa voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti.

Kenttätutkimus rajoittui HUS Kiinteistöt Oy henkilökunnan haastatteluihin ja Meilahden alueen ilmanvaihto laitteiston tutkimiseen. Taustatyönä perehdyttiin kuitenkin useisiin sairaalailmanvaihtoa koskeviin tutkimuksiin, jotka koskivat useita Suomen sairaaloita. Monet työssä tehdyt huomiot ja yleistyksiset on perusteltu kyseisillä tutkimuksilla, joten työn voidaan siltä osin katsoa koskevan koko Suomen sairaala kantaa. Useissa tutkimuksissa on ilmanvaihdon ongelmaksi todettu myös ohjeistuksen puute tai vähäisyys. (Reijula 2005: 24; Holopainen ym. 2012.).

Opinnäytetyön tilaaja on HUS Kiinteistöt Oy, joka tuottaa ja ostaa omistajansa Helsingin ja Uudenmaansairaanhoidopiirin HUS:n tarpeiden mukaisia erityisosaamista vaativia kiinteistöpalveluja sekä omana työnä että ostopalveluina. HUS Kiinteistöt Oy pyrkii ostamisessa, yhteistyökumppaneiden valinnassa ja palveluiden tuottamisessa saavuttamaan suurimman mahdollisimman kokonaishyödyn omistajalle, asiakkaalle ja ympäristölle.

Toiminta-ajatuksen ydin on olla Suomen johtava sairaalakiinteistöpalvelujen tuottaja, jonka toiminnan lähtökohtia ovat asiakaskeskeisyys, kilpailukykyisyys, pitkäjänteinen kehittämissyö ja yhteiskunta-vastuullisuus. Yhtiön tavoite on myös olla sairaala-kiinteistöhoidon paras yhteistyökumppani tavoitteenaan taata asiakkaalleen häiriötön sairaalatoiminta, työ on osa HUS Kiinteistöjen jatkuvaa kehitystyötä. Yhtiön tuottamia palveluja ovat rakennuttaminen, kiinteistö-palvelut, kunnossapitopalvelut, asunto-palvelut, turvapalvelut ja hallintopalvelut.

Yhtiössä työskentelee keskimäärin 322 henkilöä, hoidettavia kokonaisneliöitä oli 1 059 tbrm<sup>2</sup> ja liikevaihto vuonna 2018 oli 158,7 miljoonaa euroa, joista kiinteistöpalvelut olivat 22,1 miljoonaa euroa ja kunnossapitopalvelut 32,2 miljoonaa euroa. (HUS Kiinteistöt 2018.)

## 2 Sisäilmaston vaatimukset sairaalassa

Ilmastointijärjestelmän toimintaa, luotettavuutta ja suorituskkyä tarkasteltaessa on ensin määriteltävä sisäilmastolle tavoitearvot, jotka laitteiston on pystyttävä toteuttamaan ja ylläpitämään. Sisäilmastolla tarkoitetaan ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen sisällä rakennuksessa vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia ja mikrobiologisia tekijöitä, jotka jaetaan usein lämpöoloihin ja ilmanlaatuun (Sandberg 2014).

Puhtaan, terveellisen ja viihtyisän sisäilmaston luominen ja ylläpitäminen ovat talotekniikan ja ilmanvaihdon vastuulla joka on toteuttamassa siten koko rakentamisen perimmäistä syytä eli miellyttäviä sisäolosuhteita. Ilmanvaihtojärjestelmä ja muut LVI-järjestelmät vaikuttavat oleellisesti lämpöoloihin ja sisäilman laatuun ja näiden järjestelmien järjestelmällinen huolto ja kunnossapito ovatkin edellytyksiä hyvälle sisäympäristölle.

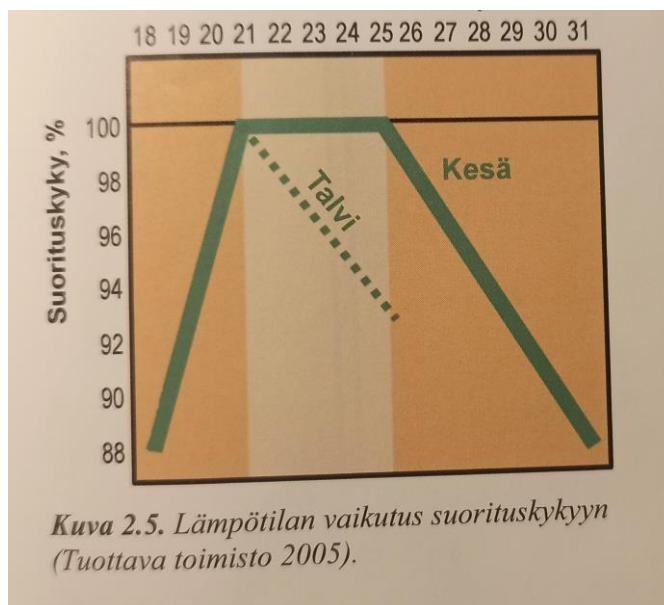
Sairaalassa monet työtehtävät ovat erittäin vaativia ja niissä tehdyt virheet vakavia. Tarkkuutta vaativien työtehtävien onnistumisen kannalta huomionarvoista ovat asianmukaiset fysikaaliset työskentelyolosuhteet kuten sopiva lämpötila, riittävä hygienian ja toimiva ilmanvaihto. Sairaaloilta kaivataan jatkuvasti myös lisää kustannustehokkuutta, huonon sisäilman on todettu aiheuttavan haittoja ja oireita henkilökunnalle ja vaikuttavan siten myös työn tuottavuuteen ja ihmisten viihtyvyyteen. (Holopainen ym. 2012.)

Suunnittelun minimiarvot rakennuksen sisäilmastosta määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelma ja siihen sisältyvä ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017), joka korvasi osan D2-osan liitetaulukot vuonna 2018. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (STM 268/2014) määritellään työpaikkojen hengitysilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP). Sosiaali- ja terveysministeriö vahvistaa myös asetuksellaan asunnon ja muun oleskelutilan terveydelliset olosuhteet (STM 545/2015), jotka ovat ehdottomia jo korjaaviin toimenpiteisiin velvoittavia toimenpiderajoja. HUS Sairaaloissa sovellettavat ja tilakohtaisesti määritellyt sisäilma-arvot löytyvät myöhemmin esiteltävistä HUS tilakorteista.

## 2.1 Lämpöolosuhteet

Lämpöolosuhteet ovat lämpötilan ja vedon yhdistelmä ja vaikuttavat ihmisten tuottavuuteen, viihtyisyyteen ja terveyteen, joten on tärkeää valita tavoite arvot oikein ja varmistua myös lopputuloksen laadusta. Lämpötila on tärkein yksittäinen sisäilman viihtyvyystekijä. Lämpöviihtyisyydessä on kuitenkin yksilöllisiä eroja, mutta tyytyväisten osuus on suurin lämpötila ollessa 21–22 °C (Sandberg 2014: 41). Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksen sisältöön, asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisiin olosuhteisiin sisältyvät myös lämpötilarajat (Asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista 2015). Huonelämpötilojen tulee kaikissa tilanteissa täyttää asetuksen vaatimukset.

Suurimmat puutteet sairaaloiden sisäympäristössä ilmenevät juuri lämpöolojen hallinnassa ja ilmanlaadussa (Reijula 2005: 56). Rakennusten käyttäjien kasvaneiden vaatimusten myötä lisääntynyt sairaalateknikka kasvattaa sisäisiä lämpökuormia yhtäaikaista kasvavan tilahtauden kanssa. Monissa sairaaloiden tiloissa kuumuus vaivaa muulloinkin kuin pelkästään kesällä (Reijula 2005: 51). Ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot tai pintalämpötilat eivät saa heikentää viihtyisyyttä ja huonelämpötilaa, jonka on oltava suunniteltuna käyttöaikana sille asetetuissa tavoitteissa, jotta suorituskyky säilyy hyvänä (Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017).

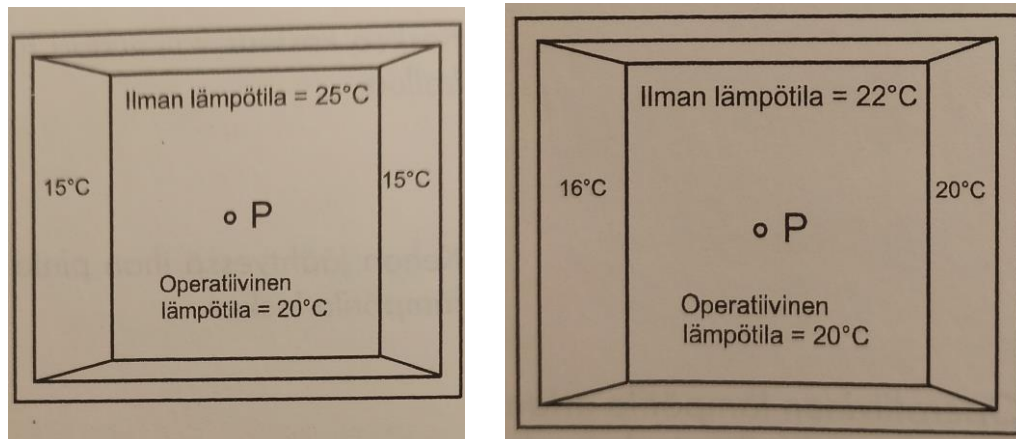


Kuva 1. Ihmisen suorituskyky on verrannollinen lämpötilaan (Seppänen & Seppänen 2010)

Ihmisen tuottavuus on suurin miellyttävässä lämpötilassa. Työturvallisuuslaki antaa Suomessa puitteet lämpöolojen säätelylle, jota tuetaan sisäilmastoluokituksilla, meillä ei kuitenkaan ole lämpöolojen altistusnormia, joka määrittäisi tarkasti lämpötilavaihtelujen siedettävyyden (Rintamäki ym. 2014: 2–3). Käytännössä työympäristö määrittää työpai-  
kan lämpötilojen tavoitetasot, työn raskauden vaikuttaessa parhaana koettuun lämpötilaan, koska määräykset eivät asiaa tarkemmin määrittele. Toimistomaiseen ympäristöön sopivat hyvin sisäilmaluokituksessa annetut arvot.

### 2.1.1 Lämpöviihtyvyys

Istumatyössä ja muussa toiminnassa, jossa aineenvaihdunnan teho on alhainen ja ilman keskinopeus pieni, keskimääräisellä säteilylämpötilalla ja ilman lämpötilalla on likimain yhtä suuri vaikutus lämpöviihtyisyyteen. Ihmisten kokemaan operatiiviseen lämpötilaan vaikuttavat ilman lämpötilan lisäksi siis myös huoneessa olevien laitteiden ja pintojen lämpötilat. Veto lisää haihtumista ihmisen iholta, vaikuttaen lämpötasapainoon ja siten myös lämpöviihtyvyyteen (Seppänen & Seppänen 2010). Sama huonelämpötila voi tuntua kylmältä tai kuumalta ilmannopeudesta, huonelämpötilasta ja pintojen lämpötilasta riippuen (kuva 2).



Kuva 2. Ihminen voi aistia saman operatiivisen lämpötilan eri osatekijöistä koostuen (Seppänen & Seppänen 2010: 18.)

Vaikka lämpötila luodaan jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmillä, niin myös Ilmanvaihdolla ja ilmanjaolla voidaan siis vaikuttaa lämpöoloihin ja ihmisen kokemaan lämpöviihtyvyyteen. Tilojen kesäajan huonelämpötilan hallinnasta ja haitallisen lämpenemisen estämisestä on annettu säännökset ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017: 29 §).

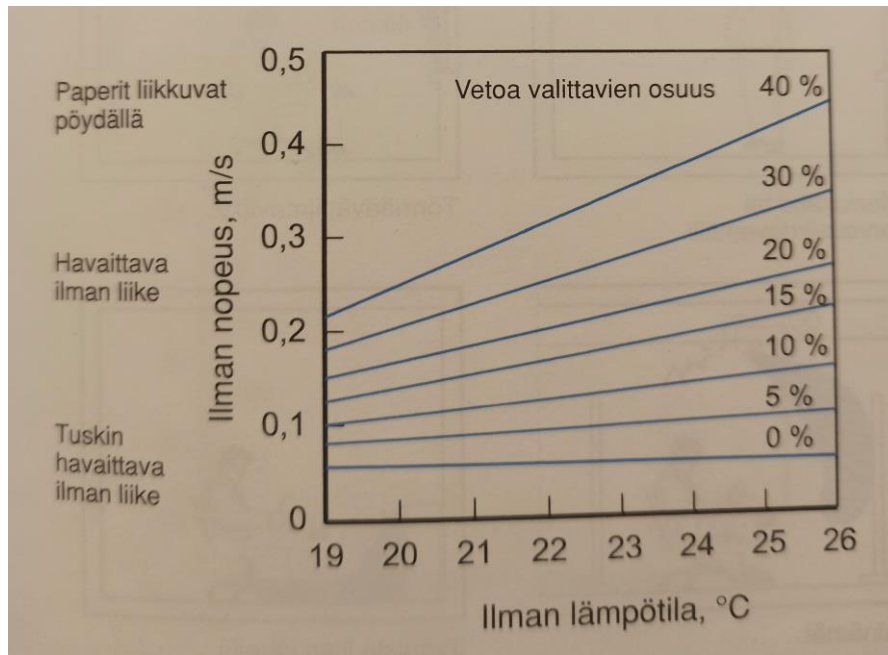
Voimakkaasti elimistöä kuormittavat lämpöolot aiheuttavat terveyshaittaa. Korkea lämpötila kuormittaa elimistöä aiheuttaen samankaltaisia vaikutuksia kuin ruumiillinen työ, liian alhainen lämpötila taas voi johtaa elimistön liialliseen jäähtymiseen. (Sandberg 2014: 40.)

Ihmisten kokemat sisäilmaoireet ja myös sairauspoissaolot lisääntyvät nopeasti lämpötilan kohotessa etenkin talviaikana (Sandberg 2014: 41). Lämpötila vaikuttaa monella tavalla sisäilman laatuun monien materiaalien epäpuhtauspäästöjen ja hajuemissioiden kohotessa. Lämpötilan noustessa myös suhteellinen kosteus alenee ja ilma koetaan sitten kuivemmaksi ja tunkkaisemmaksi. Tutkimuksissa iso osa sairaalahenkilökunnasta kokee jatkuvaa työympäristöhaittaa kuivasta ja tunkkaisesta ilmasta. (Korhonen & Reijula 2009: 84.)

### 2.1.2 Vedon tunne

Keskimääräistä suuremmasta lämmön siirtymisestä iholta aiheutuu vedon tunnetta. Lämmön siirtymiseen ja vedon tunteeseen vaikuttavat lämpötilan ja ilman nopeuden lisäksi lämpösäteily ja päällä oleva vaatetus (kuva 3) (Seppänen & Seppänen 2010: 20.).





Kuva 3. Ilman nopeuden kasvaessa kasvaa myös lämpötilan vaikutus vedon tunteeseen (Seppänen & Seppänen 2010: 21.).

Veto ei kuitenkaan aiheuta sairauksia sellaisena kuin se esiintyy suomalaisissa rakennuksissa. Alhaisissa lämpötiloissa se kuitenkin voimistaa kylmän vaikutusta aiheuttaen siten palelua ja toimintakyvyn laskua. Korkeissa lämpötiloissa veto puolestaan edesauttaa ihon viilenemistä ja parantaa siten lämmönsietoa. Asumisterveysasetus määrittää toimenpiderajat ilman nopeudelle (Asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista 2015: liite 1), sitä voidaan pitää rajana, jolloin viimeistään on reagoitava. Vedon tunteen syntyminen on kuitenkin yksilöllistä ja käyttäjän tuntemuksille tulisikin antaa suuri painoarvo. Ilmanjakoon on kiinnitettävä huomiota erityisesti jäähdytyslaitteiden yhteydessä ja jäähdytystehojen lisääntyessä, sairaalantyöntekijöistä noin joka neljäs koki jatkuvaa veto haittaa (Korhonen & Reijula 2009: 84).

## 2.2 Ilman laatu

Ihmiset viettävät noin 90 % elinajastaan sisällä ja ilman mukana liikkuvat epäpuhtaudet aiheuttavat terveydelle merkittäviä haittoja. Ilmanlaatuun voidaan vaikuttaa asianmukaisella suodatuksella, huoltamalla ilmanvaihtolaitteisto ohjeiden mukaisesti sekä pitämällä tilat ja laitteisto puhtaina. Oikein mitoitettu, toimiva ja huollettu ilmanvaihto paitsi estää epäpuhtauksien leviämisen ulkoa niin pienentää riskiä niiden leviämiseen rakenteista. Sisäilman hiukkaset ovat peräisin joko ulkoa, tiloissa tapahtuvasta toiminnasta tai LVI-järjestelmästä.

Sairaalaympäristö aiheuttaa lisävaatimuksia ilmanlaadulle, sisäilman laatua heikentäviä ja sairaalan toiminnoista peräisin olevia tekijöitä ovat anestesiakaasut, laboratorioiden kemikaalit, lääkeaineet, toimenpiteistä peräisin oleva kipsi- ja lasikuitu- ja luonnonkumilateksipöly ja tartuntaa aiheuttavat mikrobit (Reijula 2005: 9, 17). Sairaalat sijaitsevat usein lähellä kaupunkien keskustoja ja ulkoilmalaitteet on myös sijoitettava riittävän kauas ilmanlaatua pilaavista lähteistä kuten pakokaasuista, vähimmäisetäisyys esimerkiksi jäähdytystorniin tai katuun on 8 m (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas 2020).

### 2.2.1 Pienhiukkaset

Varsinkin kaupunkialueelle voi ulkoilmassa olla suuria pienhiukkaspitoisuuksia. Niiden haitallisia terveysvaikutuksia pystytään vähentämään tuloilmansuodatuksen avulla. Sisäilman laatuun vaikuttaa myös sisällä syntyvät epäpuhtaudet, terveysvaikutuksien kanalta tarkasteltuna suurimmat riskin aiheuttavat kuitenkin ulkoa tulevat pienhiukkaset. Hyvän sisäilmaston kulmakivi on riittävä määrä puhdasta, riittävästi suodatettua tuloilmaa suhteessa syntyviin epäpuhtauksiin.

Sairaaloiden sijainnilla on suuri merkitys ympäristön pienhiukkaspitoisuuteen. Kaupunkien keskustoissa tai vilkkaiden liikenneyhteyksien varrella ulkoilman epäpuhtauspitoisuudet ovat reilusti korkeampia kuin keskustojen ulkopuolella. Suodatusluokka määräytyykin ulkoilman laadun ja pienhiukkastason perusteella. Suodatuksella voidaan vähen-

tää pienhiukkasten määrää merkittävästi sisäilmassa ja oikein toteutettu suodatus vähentää altistumista ulkoilman pienhiukkasille jopa 80 prosenttia (Suonmaa 2014). Ikku-natuuleetus lisää suodattamattoman ilmapirran määrää ja on useassa tapauksessa ollut suurin pienhiukkaspitoisuutta sisäilmassa lisäävä tekijä (Reijula 2005: 55).

## 2.2.2 Suodatus

Puhdasta tuloilmaa ja hyviä sisäilmaolosuhteita ei kaupunkien keskustoissa yleensä voi olla ilman riittävää ilmansuodatusta. Ilmanvaihtojärjestelmän suodatusluokka määräytyy ulkoilman hiukkaspitoisuuden ODA ja halutun tuloilman hiukkaspitoisuuden SUP perusteella (taulukko 1). Suomessa ulkoilma on yleensä luokkaa ODA 1, Helsingissä pitoisuudet nousevat muutamina päivinä vuodessa luokkaan ODA 2 (Ilmanlaatu Suomessa 2020). Sairaaloissa suodatusluokka määräytyy yleensä puhtaimman SUP 1:n perusteella.

Taulukko 1. Suodatinluokkien minimi ulko- ja tuloilmalle (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus. Osa 5-1: Rakennusten ilmanvaihto, 2017).

	Tuloilmaluokka				
Ulkoilmaluokka	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	M5 + F7	F7	F7	F7	
ODA (P) 2	F7 + F7	M5 + F7	F7	F7	*)
ODA (P) 3	F7 + F9 **)	F7 + F7	M6 + F7	F7	*)

Suodatus tuloilmalle suunnitellaan sellaiseksi, että sisäilman laadulle asetetut tavoitteet täyttyvät juuri sillä ulkoilman laadulla ja ulkoilmavirralla mitä tulee kyseiseen ilmanvaih- tokoneeseen (taulukko 2). Suunnittelussa otetaan suodatettavan ulkoilmavirran lisäksi

huomioon myös muut tuloilman epäpuhtauslähteet, kuten suodatinten ohivuodot, lämmöntalteenoton vuodot ja mahdollinen palautusilmavirta (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus. Osa 5-1: Rakennusten ilmanvaihto 2017).

Taulukko 2. Tuloilman SUP-luokittelu (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus. Osa 5-1: Rakennusten ilmanvaihto, 2017).

Luokka	Kuvaus	Hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot	
		PM2,5	PM10
SUP 1	Tuloilma - erittäin pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	6 µg/m <sup>3</sup>	12,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 2	Tuloilma - pienet hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	12,5 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
SUP 3	Tuloilma - keskimääräiset hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	18 µg/m <sup>3</sup>	37,5 µg/m <sup>3</sup>
SUP 4	Tuloilma - suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
SUP 5	Tuloilma - erittäin suuret hiukkasmaiset (ja/tai kaasumaiset) epäpuhtauspitoisuudet	32,5 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>

Sairaaloissa on myös paljon puhdastiloiksi kutsuttuja tiloja, joihin yleisilmanvaihdon suodattimet eivät anna riittävää hygieniatasoa vaan on käytettävä lisäksi korkeamman erotusasteen HEPA-suodatinta, joka valitaan aina tapauskohtaisesti. Puhdastilastandardi (SFS-EN ISO Puhdastilat ja puhtaat alueet osa 4, 2015) määrittelee puhdastilan tilaksi, jossa ilman hiukkaspitoisuutta valvotaan, ja joka on rakennettu siten, ja jota käytetään sellaisella tavalla, että hiukkasten pääsy, kerääntyminen ja säilyminen huoneen sisällä on minimoitu. Käynti puhdastilaan on sulkuhuoneiden kautta. Puhdastilamäärittelyn alle näin määriteltynä kuuluvat leikkaussalit, sairaala-apteekit, laminaarivirtaus- ja biosuojakaapit.

Taulukko 3. Ulko- ja tuloilmasuodattimien suositeltavat minimisuodatuksat, erotusaste voidaan toteuttaa useilla erilaisilla yhdistelmillä. Parhaaseen SUP 1 -luokkaan pyrittäessä on kaasusuodatus suositeltavaa (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus. Osa 5-1: Rakennusten ilmanvaihto 2017).

	Tuloilmaluokka				
Ulkoilmaluokka	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	
ODA (P) 2	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	ePM1 50%	*)
ODA (P) 3	ePM2.5 65% + ePM1 80% **)	ePM2.5 65% + ePM1 50%	ePM10 50% + ePM1 50%	ePM1 50%	*)

Suodatinhankinnoissa on hyvä ottaa huomioon paitsi energiankulutus niin myös eurooppalaisen suodatinten luokitusjärjestelmän antama liikkumavara erotusasteelle. Nykykäytäntö on ilmoittaa tarvittava suodatus erotusasteina (taulukko 3), kun ennen käytettiin suodatusluokkia (taulukko 1). Saman luokan suodattimen erotusaste voi vaihdella jopa 15 %, millä on jo vaikutusta sisäilman laatuun (Sandberg 2014b). Jos halutaan asettaa sisäilman laatu tärkeimmäksi kriteeriksi suodattimia kilpailutettaessa, olisi erotusasteelle annettava suuri painoarvo valintaa tehtäessä ja perusteltava käytettävä suodatus ulkoilman todenmukaisella hiukkaspitoisuudella. Koneen sisällä olevat paine-erot saattavat aiheuttaa ohivuotoa kehyksen alta ja suodattimen ominaisuuteen ja lopulta sisäilman hiukkaspitoisuuteen vaikuttaakin erotusasteen lisäksi myös suodatinkehys (Kärki & Hyvärinen 1997). (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus. Osa 5-1: Rakennusten ilmanvaihto, 2017)

Sairaaloissa on panostettu tuloilman suodatukseen ja suurin ongelma ja pienhiukkaspitoisuutta lisäävä tekijä vaikuttaisikin olevan suuri määrä esimerkiksi avoimista ikkunoista tulevaa suodattamatonta vuotoilmavirtaa (Reijula 2005: 55).

### 2.2.3 Kemiaalliset ja biologiset epäpuhtaudet

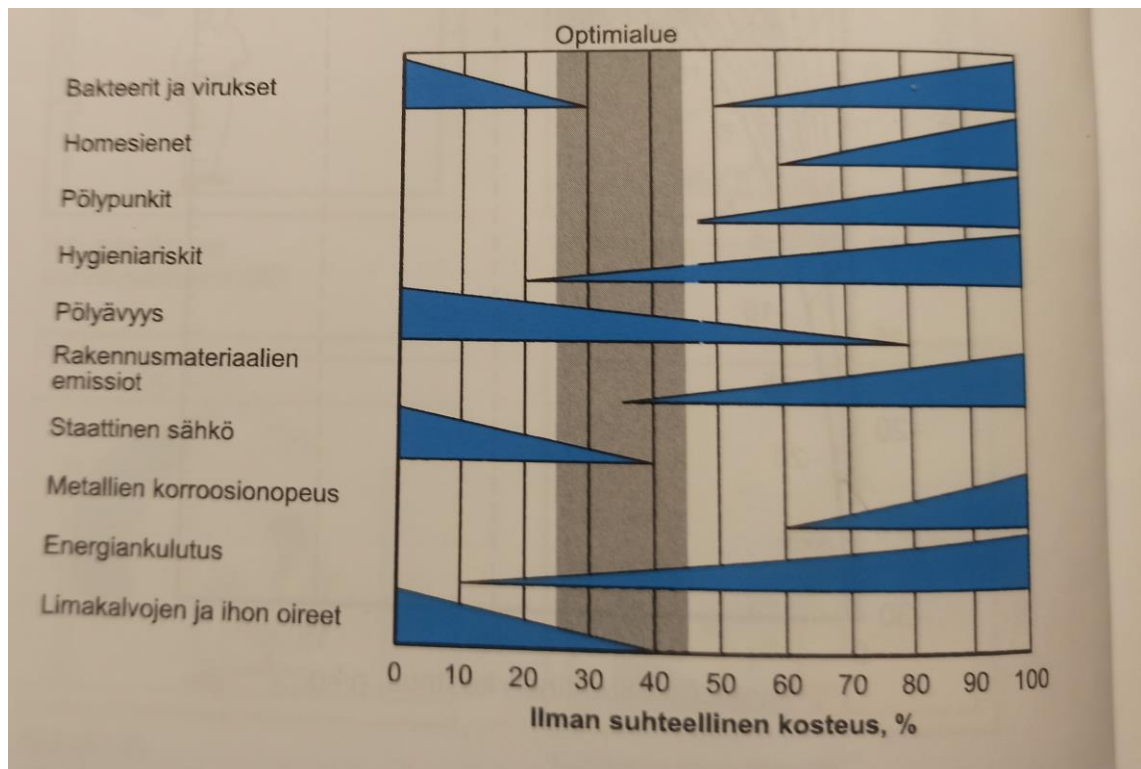
Sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien lähteitä ovat rakennusmateriaalit, liikenne, teollisuus ja ihmisen oma toiminta. Rakennusmateriaaleista johtuvia kemiallisia epäpuhtauksia ovat mm. haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH) ja formaldehydit. Liikenteen aiheuttamia epäpuhtauksia ovat taas mm. typen oksidit, nitraatti ja nitriitti, kun ihmisestä ja ihmisen toiminnasta lähteviä puolestaan ovat hiilidioksidi ja hiilimonoksidi (Sandberg 2014: 62–65).

Biologisista epäpuhtauksista allergiaa ja muita terveyshaittojen aiheuttajia sisäilmassa tai huonepölyssä ovat biologiset hiukkaset kuten siitepölyt ja kasvipölyt, homeet, virukset, bakteerit ja eläinpöly. Allergikoilla esiintyviä oireita ovat astma, allerginen nuha, silmätulehdus ja atooppista ihottumaa (Reijula 2005: 40).

Epäpuhtauksien aiheuttamia haittoja voidaan arvioida HTP-arvojen avulla, enimmäispitoisuuksia pysyviä haittoja aiheuttaville aineille. Sosiaali- ja terveysministeriö on asetuksellaan haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista vahvistanut työpaikan ilman epäpuhtauksien haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ja vastaavat biologisten altistumisindikaattorien ohjeraja-arvot. HTP-arvot on tarkoitettu huomioon otettavaksi työpaikan ilman puhtautta, työntekijöiden altistumista ja mittaustulosten merkitystä arvioitaessa. (Asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 2018). HTP-arvot ovat ehdottomia toimenpiderajoja lyhytaikaiseenkin altistumiseen. On varattava riittävä toleranssi normaalitilanteen arvoihin, ja sopivana pidetään HTP-arvojen kymmenesosaa.

### 2.3 Ilman kosteus

Kosteuden määrää voidaan ilmaista suhteellisen kosteuden tai absoluuttisen kosteuden avulla, joita molempia käytetään ilmastointiteknikassa. Sisäilman liian vähäinen suhteellinen kosteus vaikuttaa limakalvojen ja ihon kuivumiseen, staattiseen sähköisyyteen ja pölyn irtoavuuteen.



Kuva 4. Huoneilman kosteuden vaikutuksia (Seppänen & Seppänen 2010: 24)

Kostea ilma on ihmiselle miellyttävämpää kuin aivan kuiva, ilman kostutukseen on silti suhtauduttava varauksella, sillä kostuttamiseen liittyy myös riskejä (kuva 4). Mikrobeja voi joutua huoneilmaan suoraan kostutusveden mukana tai kostutuksen aiheuttaman tiivistymisen seurauksena kasvustoa voi syntyä joko ilmanvaihtokanaviin tai muualle rakenteisiin. Sairaalassa kostutusta ei suositella, ja talvisin ilma saattaakin olla liian kuivaa.

## 2.4 Ääniolot

Ääni ja melu ovat yksilöllisiä asioita, äänen voi ajatella muuttuvan meluksi sen ollessa häiritsevää ja ei toivottua (Sandberg 2014a). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä määrittää tilakohtaiset desibelirajat sairaalaan jota Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä soveltaa ja tarkentaa (Asetus rakennuksen ääniympäristöstä 2019)



Yleisesti ilmanvaihtokoneen aiheuttamaa tasaista ääntä ei pidetä häiritseväenä, vaan sen on todettu jopa vähentävän puheäänen häiritsevyyttä (Sandberg 2014a: 68). Päätelaitteet vaimentavat puhaltimelta tulevaa ääntä aiheuttaen samalla ääntä kuitenkin itsekin. Päätelaitteiden äänentuotanto riippuu ilmavirrasta, ja muutokset järjestelmässä tai liika päätelaitteessa saattavat nostaa äänitason liian suureksi (Sandberg 2014b).

## 2.5 Tuloilman määrä

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta ja sitä soveltava opas määrittelee voimassaolevan lainsäädännön tuloilmamäärälle. Vanhojen sairaaloiden ilmanvaihdon mitoitus on kirjavaa, määräysten puutteessa ovat ratkaisut perustuneet tekijän ammattitaitoon ja rakennusmääräyskokoelman vähimmäismääriin. Sairaaloiden, terveyskeskusten ja lääkäriasemien tavanomaisten potilas- ja toimenpide-tilojen ilmanvaihdon mitoituksessa käytetään ensisijaisesti henkilöperustetta, ottaen myös huomioon haju- ja epäpuhtauskuormat, joiden kuitenkin katsotaan olevan verrannollinen henkilömäärään.

## 2.6 Sisäilmaluokittelu

Voimassa oleva lainsäädäntö ohjaa minimitason ilmanvaihtoon, sisäilmanluokittelua on vapaaehtoinen työkalu, jota voidaan käyttää apuna pyrkiessä parantamaan ilmanlaatua. Sisäilmaluokittelun käytöstä saadaan apua sisäilman laadun määrittelyssä suunnittelussa, rakentamisessa ja myöhemmin ylläpidossa. Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen: laatuluokat S1, S2 ja S3. Sisäilmastoluokassa S1 ja S2 päästään todennäköisimmin käyttäjätyytyväisyydeltään suurempaan osuuteen kuin luokassa S3, jossa esitetään lainsäädännön velvoittavat vähimmäisvaatimukset (kuva 5) (Sisäilmaluokitus 2018).



	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m <sup>3</sup> ]	< 100	< 100	< 200
PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	< 10	< 10	< 25
PM <sub>2,5</sub> sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

Kuva 5. Sisäilman laadun tavoitearvot. Hiilidioksidipitoisuudet on ilmoitettu sisä- ja ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden erona (Sisäilmaluokitus 2018).

Tavoitteen asettaminen sisäilmastolle antaa raamit eri toimijoiden väliselle yhteistyölle ja vähentää siten terveyttä tai viihtyvyyttä heikentävien ongelmien syntymisen riskiä. Hiilidioksidipitoisuuksia tarkastellessa ei sairaalaympäristössä useinkaan ole ollut ongelmia tilojen ollessa pääsääntöisesti hiilidioksidipitoisuuksissa kahta ensimmäistä luokkaa. Sisäilmaluokitus antaa tavoitearvot myös lämpötiloille (kuva 6) ja kuten aiemminkin on todettu, niin suurimmat ongelmat sairaalaympäristössä ovat ilmenneet lämpöolojen hallinnassa (Reijula 2005).

### 1.3.2 Lämpöolosuhteiden tavoitearvot

Taulukko 1.3.1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 <sup>1)</sup>	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ <sup>1)</sup>	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 <sup>1)</sup>	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$< 22,5 + 0,166 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$> 20,5 + 0,075 \times t_u$	$> 20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$< 23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) <sup>2)</sup>
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) <sup>2)</sup>
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) <sup>2)</sup>
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Kuva 6. Sisäilmastoluokitus 2018 mukaiset tavoitelämpötilat (Sisäilmaluokitus 2018).

Sisäilmaluokittelu antaa tavoitearvot myös hiilidioksidin määrälle, ilman nopeudelle, ilmassa leijuville pienhiukkasille, radonille, äänelle ja valonvoimakkuudelle (Sisäilmaluokitus 2018).

## 2.7 Tilakortit, HUS Kiinteistöt

HUS Kiinteistöjen tilakohtaiset ja suunnittelun pohjana käytetyt arvot on määritelty tilakorteissa. Tilakortit on luokiteltu kuuteen eri luokkaan ja 70 erilaiseen tilaan, joista kuhunkin on määritelty standardeihin ja viranomaisohjeisiin perustuen vähimmäisarvo ulkoilmavirralle ja suodatusluokalle. Niissä on määritelty enimmäisarvo ilmannopeudelle kesäisin ja talvisin, sallittu lämpötilan vaihteluväli ja sallittu äänitaso. Osalle huoneista määritellään huonekohtaisesti myös joitain seuraavista asioista: ilmanjakotapa, HEPA-

suodatuksen tarve, hiilidioksidin maksimiarvo, painesuhteet muihin tiloihin, tilaan sovellettava standardi ja käytettävä kulun valvonta. Jatkuvasti päivittyvät LVI-suunnitelmat mitoitustietoineen löytyvät puolestaan HUS Kiinteistöt Oy:n dokumenttiarkistosta.

### **3 Ilmanvaihtojärjestelmän suorituskykyyn vaikuttavat tekijät**

Ilmanvaihtojärjestelmä pyrkii siis toteuttamaan sisäilmastolle määriteltäviä tavoitteita, tarkoituksena on turvata vedottomasti riittävä määrä puhdasta, oikean lämpöistä tuloilmaa oleskelutiloihin sekä poistaa poistoilman mukana syntyneet epäpuhtaudet ja lämpökuormat. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmien mukainen toiminta asettaa vaatimuksia, joiden täytyminen ylläpidon on varmistettava. Vikapuu ajatteluun perustuen yksi ilmanvaihtokoneen huippuvika aiheuttaa monenlaisia muita vikoja, jotka lopulta vaikuttavat sisäympäristöön tai energiatehokkuuteen (Kärki & Karjalainen 1999: 43–45).

#### **3.1 Ilmanvaihtokoneen suorituskyky**

Ilmastointikoneen tehtävä on pystyä tuottamaan tietty määrä, tietyn lämpöistä tulo- ja poistoilmaa, tietyillä puhtausominaisuuksilla. Mikäli haluttua suorituskykyarvoa ei pystytä saavuttamaan ja tiloja kuitenkin käytetään kuten on alun perin suunniteltu, on syy selvítettävä. Mahdollisia syitä ovat koneen suunnittelu- tai mitoitusvirhe, valmistusvirhe, asennuksessa tai käyttöönotossa tehty virhe tai käytönaikainen vika eli poikkeama koneen kohteen vaadituista ominaisuuksista (Kärki & Karjalainen 1999: 21).

Käytönaikaisia vikoja ovat esimerkiksi laakerin hajoaminen, pellin tai venttiilin jumiutuminen, tukkeuma suodattimessa, patterissa tai ulkoilmasäleikössä, vuoto tai tukos putkitossa, anturivika, väärä säätöalgoritmi tai väärä lämmönsiirtonesteen pitoisuus.

Ilmanvaihtokoneen keskeisenä suorituskykyvaatimuksena ilmamäärän lisäksi on saada kullakin hetkellä irti haluttu lämpöteho. Lämpötehon oikeellisuuteen liittyy antureiden tarkan toiminnan lisäksi rakennusautomaation ja säädön toiminta, lämmöntalteenoton toiminta, lämmityspatterin, jäähdytyspatterin ja pumppujen toiminta.

### 3.2 Ilmanvaihtojärjestelmän säädön vaatimukset

Ilmastointikoneen on pystyttävä säätämään ilman lämpötila ja tuloilmakanavan paine riittävän tarkasti ja riittävän nopeasti haluttuun arvoon (SFS Ilmastointijärjestelmän säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset 1993). Standardi asettaa vaatimuksia myös lämmityspatterin veden säädölle Ilmanvaihto järjestelmän oikea toiminta edellyttää rakennusautomaatiolta ja siihen liitetyiltä antureilta riittävää tarkkuutta (kuva 7).

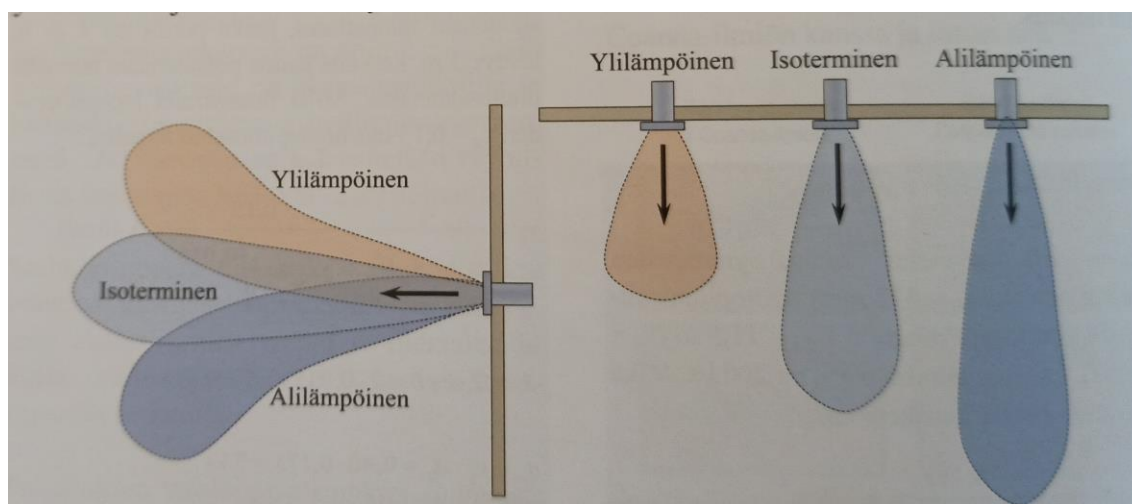
Tilanne	Vaatus
Käynnistys	<ul style="list-style-type: none"> <li>asettumis aika <math>\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}</math>:n tarkkuudella lopullisesta arvosta enintään 15 min</li> </ul>
Käyntiaika	<ul style="list-style-type: none"> <li>lämpötilan keskiarvon suurin sallittu poikkeama asetusarvosta <math>\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> <li>symmetrisesti keskiarvon molemmiin puolin sijaitsevat rajat, joiden sisällä lämpötilan tulee olla vähintään 90 % ajasta <math>\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> <li>jatkuvaa värähtelyä ei saa esiintyä</li> </ul>
Asetusarvon muutos	<ul style="list-style-type: none"> <li>asettumis aika <math>\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}</math>:n tarkkuudella lopullisesta arvosta enintään 10 min</li> <li>lämpötilan asettumisajan jälkeisen keskiarvon suurin sallittu poikkeama uudesta asetusarvosta <math>\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> <li>symmetrisesti asettumisajan jälkeisen keskiarvon molemmiin puolin sijaitsevat rajat, joiden sisällä lämpötilan tulee olla vähintään 90 % ajasta <math>\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>

Kuva 7. Säädön vaatimukset keskusilmastointikoneen jälkeisen ilman lämpötilalle (SFS Ilmastointijärjestelmän säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset 1993).

Rakennuskohteeseen sopimattoman säätötavan valinta ja ohjelmistoviat ovat tyypillisiä säädön suunnitteluvirheitä. Asennuksen ja käyttöönoton tyypillisiä virheitä ovat puolestaan säätöpiirien puutteellinen viritys tai virittämättä jättäminen, mittausanturien ristiin kytkeminen tai mittausanturien väärä sijoitus. Viritysparametrien tahattomasti tehdyt muutokset ja ilmastointikoneiden käyntiaikojen virheet ovat esimerkkejä käytönaikaisista virheistä. (Kärki & Karjalainen 1999).

### 3.3 Ilmanjaon vaikutus

Puhdasta tuloilmaa on saatava joka puolelle huonetta mikä useimmiten tarkoittaa myös tulo ja poistoilman tasaista sekoittumista. Ilmanjako voi epäonnistua rakenteellisista syistä, väärin toimivan pääte-elimien tai vääränlämpöisen tuloilman takia. Tuloilman lämpötila suhteessa huoneen lämpötilaan vaikuttaa ilman käyttäytymiseen, väärän lämpöisen tuloilma saattaa aiheuttaa vetoa tai huonoa ilman sekoittumista jolloin epäpuhtaudet nousevat paikallisesti korkeaksi (kuva 8). Huoneilmaa kylmempi tuloilma taipuu venttiilistä alaspäin, kun taas lämpimämpi ilma nousee ylöspäin.



Kuva 8. Säädön epätarkkuudet saattaa vaikuttaa myös ilmanjakoon aiheuttaen vetoa (Sandberg 2014b: 268)

Tilan kuvaus	Ilman suurin sallittu keskinopeus (+20 °C)	Ilman suurin sallittu keskinopeus jäähdytystilanteessa
Kevyt työ tai vastaava Kiinteät työpisteet, toimisto, kevyt liikunta, koululuokka, päiväkot, aula, paikallan oleva seisomatyö, asuinhuoneet	0,2	0,30
Keskiraskas työ tai liike esim. käytävä, jossa ei oleskella ja/tai istuta	0,25	0,35
Raskas työ tai liike esim. urheiluhallit	0,30	0,40

Kuva 9. Sallitut ilmannopeudet oleskeluvyöhykkeellä (Opas ilmanvaihdon mitoittukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2019: 7)

Valitun ilmanjakomenetelmän toiminta voi häiriintyä liian tai rakenteellisten esteiden vaikutuksesta, jolloin tuloilmasuihku suuntautuu virheellisesti oleskeluvyöhykkeelle. Ilman nopeus heti venttiilin jälkeen voi olla useita metrejä sekunnissa, oleskeluvyöhykkeellä nopeus saa kuitenkin olla enintään 0,2 m/s (kuva 9) (Sandberg 2014b: 270–272).

Tilan jäähdytystarpeen kasvaessa kasvaa myös riski liian suurille ilmannopeuksille ja vedolle. Jäähdytyksen ilmanjakolaitteiden valinta ja sijoittelu onkin tehtävä erityisen huolellisesti vetohaittojen torjumiseksi. Sairaaloissa veto koetaan melko yleiseksi ongelmaksi (Reijula 2005: 40, 57) ja syynä on mahdollisesti juuri jäähdytyksen lisääntyminen ja lisääminen jälkikäteen ja toisaalta kokonaisvastuun puuttuminen kun kukin urakoitsija on vastuussa vain omasta osuudestaan. Esimerkiksi konvektoreita rakennukseen lisäävä urakoitsija on vastuussa vain urakkasopimuksen mukaisista tehtävistä ja lisäjäähdytyksen mahdolliset vaikutukset muun ilmanvaihtojärjestelmään toimintaan saattavat jäädä tarkastelun ulkopuolella ja mahdollisesti ilmetäkin vasta pitkän ajan päästä.

Suurena haasteena sairaaloiden sisäilmanlaadulle mainitaankin lähes jatkuva korjausrakentaminen (Holopainen ym. 2012: 17), kaikkia mahdollisia vaikutuksia muihin järjestelmiin on kustannussyistä mahdotonta selvittää aina etukäteen. Ilmanjaon toiminta voi myös vaarantua rakenteellisten muutosten vaikutuksesta vaikka koneellinen tulo-, ja poistoilmanvaihto yleensä kestää rakenteellisia muutoksia kohtuullisen hyvin verrattuna muihin ilmanvaihtojärjestelmiin.

### 3.4 Ilmanvaihtojärjestelmien puhtauden vaatimus

Toimiakseen oikein on ilmanvaihtojärjestelmän oltava riittävän puhdas. Koneellinenkaan tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä ei tuota puhdasta ilmaa ilmanvaihtojärjestelmän ollessa likainen. Ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien osien tulee olla puhtaita, jotta sisäilman

laatu voidaan sairaalassa pitää terveellisenä, turvallisena ja viihtyisenä (Holopainen ym. 2012.)

Likaantuneet, kostuneet ja mikrobeja kasvavat suodattimet, äänieristeet, kostutin- ja jäähdytyslaitteiden pinnat voivat aiheuttaa sisäilman hajujen ja mikrobien lisääntymistä. Puhaltimien siivekkeisiin, säätölaitteisiin ja säleikköihin kertyneet epäpuhtaudet saattavat myös haitata merkittävästi ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelman mukaista toimintaa. Puhaltimen siivekkeisiin tarttunut lika aikaansaa myös puhaltimen tärinää, mikä lopulta johtaa äänihaittojen lisäksi tärinänvaimennuskuminen ja laakereiden nopeampaan hajoamiseen. Lämmityspatteriin tarttunut lika heikentää saatavaa lämmitystehoa ja nostaa järjestelmän painehäviötä, mikä puolestaan vaikuttaa energiankulutukseen ja lyhentää lopulta puhaltimen käyttöikää. Likaantuneet anturit eivät toimi oikein, tuloilmaventtiilin likaantuminen aiheuttaa ääntä sekä muuttaa ilman haluttua käyttäytymistä. On monia syitä miksi järjestelmän puhtaudesta on tärkeää huolehtia ja tutkimuksissa on huomattu järjestelmän puhtauden olevan suhteessa ilmenneisiin vikoihin (Kärki & Hyvärinen 1997). Huonosti ilmanvaihtolaitteiston puhtaudesta huolehtiva ylläpito ei siis yleensä huomaa tai korjaa muitakaan puutteita.

Kaikissa järjestelmän osissa esiintyy neljää erilaista sisäilmanlaatua mahdollisesti heikentävää epäpuhtautta, joiden määrää laitteistossa on seurattava säännöllisin tarkastuksin (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012: 24). Näitä epäpuhtauksia ovat kanaan valmistuksessa käytettyjen voiteluaineiden jäämät, valmistuksen tai asennuksen aikana kerääntynyt rakennuspöly, käytön aikana kerääntynyt pöly ja mikro-organismikerääntymät. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen kuuluu ilmanvaihtojärjestelmän asianmukaiseen kunnossapitoon ja puhtaus tarkastetaan yleensä kahdesta syystä, joko arvioidaan tarvitseeko järjestelmä puhdistusta tai arvioidaan puhdistuksen tulosta (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012).

Puhtauden arvioinnissa voidaan toteuttaa silmämääräisesti tai sormipyyhkäisy menetelmällä (Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus 2007). Yleisimmin puhtaus määritellään silmämääräisesti ja likaisuuden silmämääräisen arvioinnin helpottamiseen löytyy kuvia ohjekorteista, standardeista ja Suomen LVI-yhdistyksen julkaisemista materiaaleista. Huoltosuunnitelmassa sovittu säännöllinen puhtauden tarkasteluväli voidaan toteuttaa standardissa annettua enimmäisaikaväliä 12–24 kk harvemmin, säännöllisten

suodattimen vaihtojen antaessa myös hyvän käsityksen järjestelmän likaantumisesta (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012: 27).

**Taulukko A.1 Tyypillinen puhtauslaatuluokkien käyttö**

Luokka	Tyypillisiä esimerkkejä
Matala	Huoneet joissa oleskellaan vain satunnaisesti, esim. varastot ja tekniset tilat
Keskitaso	Toimistot, hotellit, ravintolat, koulut, teatterit, asunnot, ostospaikat, näyttelytilat, liikuntarakennukset, sairaaloiden yleiset tilat ja teollisuuden yleiset työskentelytilat
Korkea	Laboratoriot, sairaaloiden hoitotilat, korkealaatuiset toimistotilat

Kuva 10. Hoitotilat kuuluvat korkeimpaan puhtausluokkaan (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012: 24)

Korkeana puhtausluokkana käsiteltävä sairaalanilmanvaihdon ja erityisesti hoitotilojen puhtausvaatimus on huomattavasti tiukempi kuin keskitason puhtausluokkana käsitelty toimisto tai sairaaloiden yleiset tilat. Puhtauden määrittämisessä käytettävät pölymäärät koskevat koko laitteistoa, eivät pelkästään kanavia.

**Taulukko A.3 Hyväksyttävät puhtaustasot**

Puhtauslaatuluokka	Hyväksyttävä puhtaustaso	Hyväksyttävä puhtaustaso
	Tuloilmakanavisto	Kierrätys- tai palautusilmakanavisto
Matala	$< 4,5 \text{ g/m}^2$	$< 6,0 \text{ g/m}^2$
Keskitaso	$< 3,0 \text{ g/m}^2$	$< 4,5 \text{ g/m}^2$
Korkea	$< 0,6 \text{ g/m}^2$	$< 3,0 \text{ g/m}^2$

Kuva 11. hyväksyttävät pölykertymät ilmanvaihtokanavissa (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012: 26)

Ilmanvaihtojärjestelmän on oltava riittävän puhdas vastaanotettaessa uusi järjestelmä, tätä varmistamaan on käytäntö rakennussiivouksen suorittamisesta kaksivaiheisena. Loppusiivouksen ensimmäinen vaihe tehdään ennen asennustapatarkastusta ja toimintakokeita, jotta estetään rakennuspölyn joutuminen ilmanvaihtokanaviin toimintakokeiden aikana. Sairaalanilmanvaihdon puhtaudessa sovelletaan tiukinta luokitusta ja uuden

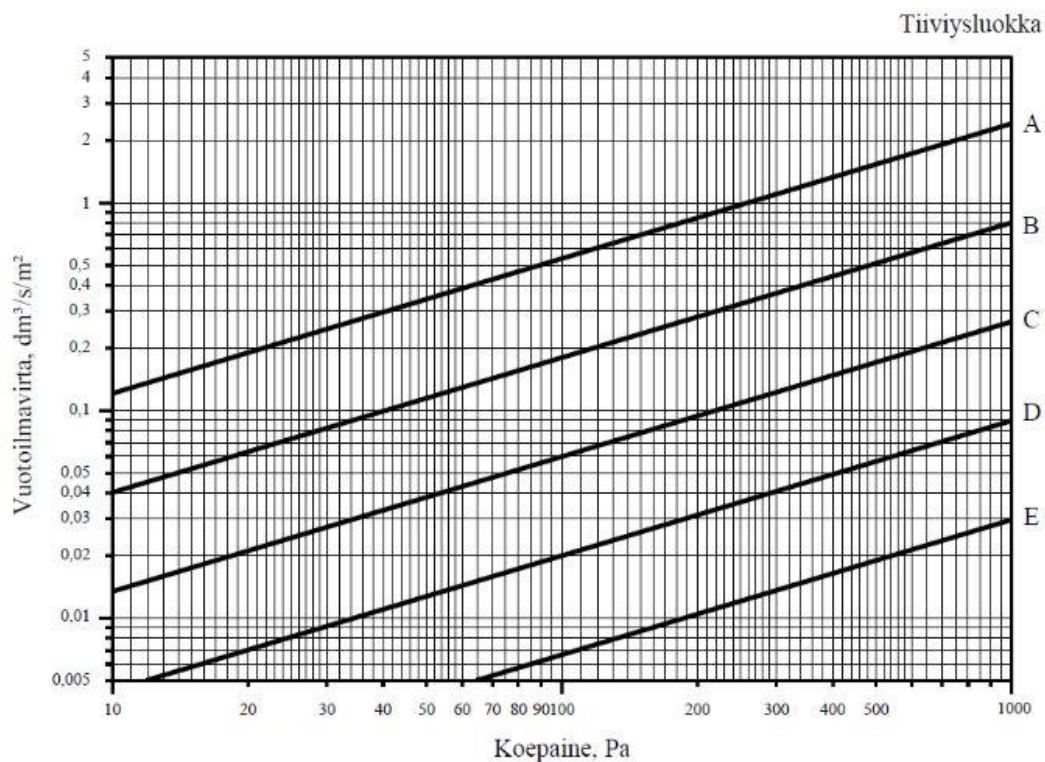


tai puhdistetun kanaviston pölykertymän on oltava alle 0,3 g/m<sup>2</sup> (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012: 28).

### 3.5 Ilmanvaihtojärjestelmän tiiviiden vaatimus

Ilmanvaihtokoneen ja kanavien on oltava riittävän tiiviitä ja sairaalassa tiiviysvaatimukset ovat myös tavanomaista suuremmat (kuva 12). Epätiiviydestä aiheutuu monia haittoja, kuten melu ja epäpuhtauksien leviäminen. Vuotava järjestelmä edellyttää myös suurempien ilmavirtojen käsittelyä ilmanvaihtokoneessa, jotta haluttu ilmanlaatu ja olosuhteet saadaan säilymään rakennuksessa. Ellei ilmenneitä vuotoja paikata, joudutaan puhaltimen tehoa suurentamaan, mikä vaikuttaa energiatehokkuuteen ja toisaalta puhaltimen elinikä mahdollisesti lyhenee. Ilmanvaihtokoneen vuodot vaikuttavat myös energiatehokkuuteen, ilmanvaihtokoneen toimintaan ja vaarantavat hygienian säilymisen (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus osa 5-1, 2017).

Suoraan ilmanlaatuun ja hygieniaan vaikuttavat lämmöntalteenotto-osan vuodot, ilman käsittelykoneen kotelon vuodot ja suodattimen vuodot. Suodattimen erotuskykyä huonontavat vuodot suodatinkehysten välistä sekä suodattimen jälkeisten ilmastointikoneen osien vaipan vuodot. Vuotojen suuruus riippuu koneen tiiviyydestä sekä koneen alipaineesta ympäristöönsä nähden. Vuotojen vaikutus on sitä suurempi, mitä parempaa suodatinta käytetään, myös likaantuminen kasvattaa painehäviötä ja siten myös vuotoja (Kärki & Karjalainen 1999).



Kuva 12. Sallittu vuotoilmavirta määräytyy tiiviysluokan perusteella (Sisäilmasto ja ilmanvaihtopas 2020)

Sairaalailmanvaihtoon tulisi soveltaa tiukinta D-tiiviysluokkaa (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012) ja kanavien puhdistuksien jälkeen tiiviys olisi myös osoitettava testeillä (Holopainen ym. 2008).

### 3.6 Energiatehokkuus

Yhtenä suorituskymittarina voidaan käyttää energiatehokkuutta. Koneen olisi toimitettava tietyllä energiatehokkuudella ja sen toteutumista seuraamalla voidaan saada tietoa koneen kunnosta ja muista vikatilanteista, esimerkkinä lämmöntalteenottolaitteiston liikaantuminen näkyy hyötysuhteen laskuna, likaantuminen vaikuttaa kuitenkin myös il-

manlaatuun, elinkaaren lyhentymiseen ja mahdollisesti myös ilmamääriin. Energiankulutuksen ja lämmöntalteenoton trendiseurantakäyriä voidaan käyttää hyväksi järjestelmän tilaa hahmotettaessa ja seurattaessa.

#### 4 Ylläpidon kehittäminen tutkimuksen kulku

Meilahden sairaala-alueella ilmanvaihdonylläpidon vastuu on jakautunut kiinteistönhoitoyksikön ja kunnossapitoyksikön kesken. Hoito tarkoittaa tässä yhteydessä kiinteistöjen ylläpitoon kuuluvaa säännöllistä toimintaa jolla pidetään kiinteistöjen olosuhteet halutulla tasolla. Ilmanvaihdon osalta kiinteistön hoito tarkoittaa määräaikaishuoltojen ja tarkastusten suorittamista.

Kiinteistönhoitoyksiköiden huoltotyö sisältää erilaisten kiinteistötekniisten järjestelmien käytön ja huollon. Kaikki käytössä kuluvat osat, tiivisteet, laakerit, suodattimet jne. sekä toimintaan liittyvä työ sisältyvät kiinteistönhoitoon. Rakennus- ja osastokohtaiset vedenkäsittelyjärjestelmät luetaan myös kiinteistöön kuuluviksi. Ilmanvaihtokanavien määräystenmukaiset nuohoukset nuohousohjelman mukaisesti sisältyvät myös ylläpitoon ja kiinteistönhoitosopimukseen, samoin kuin ilmanvaihtojärjestelmien säädöt ja sisäilmasto-olosuhteiden luominen voimassa olevien säädösten ja standardien mukaisesti. Ylläpidon kehityssuunnitelma koskettaa lähinnä kiinteistönhoitoyksikön työtä, mutta myös kunnossapitoyksikköä, joka hoitaa suuremmat korjaukset.

Kunnossapito on ylläpitoon kuuluva osa, jossa korjaamalla vialliset ja kuluneet osat pidetään kohteen ominaisuudet entisellä tasolla. Kunnossapito on kiinteistöihin kohdistuvia korjaustöitä jotka eivät oleellisesti paranna tilojen tai rakennuksen käytettävyyttä. Tavoitteena on pitää kohde samantasoisena kuin se oli valmistuessa. Kunnossa pidossa pyritään pitämään suhteellinen laatutaso entisenlaisena, ja silloin on usein tarkoituksenmukaista käyttää uusimpia teknisiä ratkaisuja ottaen järjestelmien kehitys huomioon. Energiatehokkuus on kunnossapidon ja pientarvikkeiden hankinnoissa yksi tärkeä valintakriteeri.

Ilmastointijärjestelmän korjaukset kuuluvat ylläpidolle. Työtä suorittavat niin oma henkilöstö kuin sopimusurakoitsijat. Työnjako oman toiminnan ja sopimusurakoitsijoiden kesken vaihtelee kustannuspaikoittain. Havaittuja esille tulleita ongelmia ylläpidossa ovat olleet laitteiden alimitoitus, ilmastoinnin prosessin ohjausten väärät säädöt, suodattimien tukkeutuminen, huoltoasentajien ja -mestareiden liian vähäinen teoreettinen tietotaito ilmastoinnin kokonaisprosessin hallintaan ja henkilöresurssien riittämättömyys. Meilahden sairaalakiinteistöissä on havaittu myös useita sisäympäristö ongelmia, joissa ilmastointi on vähintäänkin osin osallisena.

Vuonna 2018 oli paljon haasteita sisäympäristön lämpötilojen hallinnassa ja koettiin, ettei jaettu vastuu ilmastoinnin ylläpidosta Kiinteistöpalveluiden ja Kunnossapidon välillä toiminut kaikissa tilanteissa parhaalla mahdollisella tavalla. Osittain tämän seurauksena ollaan nyt perustamassa ilmanvaihdon ylläpidosta kokonaisvaltaisesti vastaavaa ilmanvaihtotiimiä. Insinööritö ohjaa perustettavan tiimin työtä aloitusvaiheessa, tiimiin valitut huoltoasentajat ovat saaneet myös lisäkoulutusta.

#### 4.1 Tiedonkeruu ja eteneminen

Tutkimus aloitettiin tutustumalla saatuihin historiatietoihin, ilmanvaihdon suorituskykyä ja sairaalailmanvaihtoa koskeviin tutkimuksiin sekä aihetta käsittelevään kirjallisuuteen. Seuraavassa vaiheessa siirryttiin työskentelemään HUS Kiinteistöjen tiloihin, samalla saatiin teknisen isännöitsijän käyttöoikeudet ylläpitoon liittyviin järjestelmiin, kuten Granlund Managerin huoltokirjaan ja rakennusautomaatioon. Seuraavana ollut haastatteluvaihe suoritettiin haastattelemalla ihmisiä kehitettävän ilmiön eli ilmanvaihdon ylläpidon eri puolilta. Pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolisesti tietoa ongelman ympäriltä eli ilmanvaihtoon sekä lopulta sisäilmastoon vaikuttavista asioista.

Ensimmäisinä haastateltavina olivat HUS Kiinteistöjen kaksi sisäilma-asiantuntijaa, koettiin että heillä eniten tietämystä ongelma asteelle kärjistyneistä tapauksista ja tätä tietoa voitiin käyttää hyväksi myöhempien haastatteluiden toteutuksessa ja työn suunnauksen määrittelyssä. Muita haastateltavia olivat asiantuntijat ilmiön ympäriltä kuten automaatio-, leikkausali- ja puhdistus-asiantuntija. Haastatteluja käytiin alueen huoltomestareiden ja LVIA-kunnossapidon tiiminvetäjän kanssa.

Tutkimusvaiheen kanssa on samanaikaisesti käynnissä ollut HUS:n ilmanvaihtomekaniikkokoulutus, johon osallistuttiin yhdessä 16 tällä hetkellä ilmanvaihtohuoltoja tekevän huoltoasentajan kanssa. Koulutuksen lomassa keskusteltiin paljon huoltoasentajien kanssa ja havainnointi jatkuin koulutukseen kuuluvien kohdepäivien aikana, jossa kohdehuoltoja suoritettiin HUS Meilahden kiinteistöissä. Projektin käynnistymisestä alkaen käytiin päivittäistä keskustelua myös HUS Kiinteistöjen ylläpidon huoltopäällikköjen Mika Ahian ja Mikko Helannon kanssa. Suurena apuna tutkimuksen ajan oli myös Amiedun kouluttaja Sami Vepsäläinen Suomen Huoltopäivystys Oy:stä.

Tiedonkeruu menetelmänä oli haastattelu puolistrukturoiduilla kysymyksillä ja tutkijan havainnointi. Puolistrukturoitu haastattelu toteutettiin valitsemalla aihe, josta keskusteltiin kohtuullisen vapaasti. Aihealueet vaihtelivat riippuen haastateltavan roolista ja asemasta yhtiössä. Tarkoituksena oli vapaan ilmapiirin luominen, pyrkimyksenä päästä pintaan syvemmälle ja löytää todellisia syitä ilmiölle. Liian tarkka kysymys asettelu voisi johtaa kyllä-ei-tyyliseen keskusteluun, jolloin tiedonsaanti ei ole niin syvällistä ja haastateltava saattaisi myös kokea kysymykset johdatteleviksi. Puolistrukturoituja kysymyksiä puolsi myös tieto, että ilmiö oli ainutlaatuinen josta ei ollut suoraa tutkimustietoa saatavilla.

Oma käsityksen tarkentuessa tutkimuskysymyksien laatiminen ja esittäminen ilmanvaihtohuollon osapuolille ja heidän esimiehilleen helpottui. Asiantuntijahaastattelusta saatiin myös useita uusia ja etukäteen tuntemattomia aiheita jotka ohjasivat tutkimuksen myöhempää suuntaa.

Havainnointi tiedonkeruumenetelmänä liitetään tiiviisti toimintatutkimukseen. Omakohdaista havainnointia ja keskustelu HUS:n alueella ilmanvaihtoasentajan töitä tekevien ihmisten kanssa oli tärkeässä roolissa tilanteen kartoittamisvaiheessa. Tietoa huoltojen sisällöistä ja tehdyistä korjauksista saatiin Granlund managerin huoltokirjasta löytyvistä historian tiedoista. Huoltokirjasta tutustuttiin huoltojen historian tietoihin, sisältöihin ja aikataulutuksiin. Taustatietoja saatiin myös käyttöpäiväkirjaosiosta ja palvelupyynnöistä. Käytännön huoltotietämystä syvennettiin HUS ilmanvaihtomekaniikko koulutuksen teoriaosuuksilla ja kohdepäivillä

## 4.2 Väliarviointi

Väliarviointia uudesta tarkemmasta huoltosisällöstä toteutettiin ensin 28.1.2020 havainnoimalla Meilahden alueella kolmiosairaan, tornisairaan ja parkkihallin ilmanvaihtokoneita, koneille määritettyjä asetuksia ja ilmanvaihtokonehuoneita. Ilmanvaihtokoneisiin ja koneiden kuntoon tutustumisen lisäksi, yksityiskohtaisempaa ja tarkemmin sisälöltään kuvattua määräaikaishuoltoa testattiin käytännössä 14.2.2020 Meilahden Hallintorakennuksen Ilmanvaihtokoneeseen HAHTK04.



Kuva 13. Kanavapaineanturi on vikaantunut ja näyttää painetta koneen ollessa pysähtynyt

Huollon aikana todettiin ilmamäärää säättävän anturin vikaantuneen tavalla, joka vaikuttaa suoraan suunnitelmien mukaisen tuloilmamäärän toteutumiseen (kuva 13). Tuloilmakammion ja puhaltimen kaavun välinen liitoksen tiiviste oli hajonnut (kuva 14) ja aiheutti voimakasta ohivuotoa ja ilman pyörteilyä kammiossa saaden myös kanavasta mitatun paineen vaeltelemaan edestakaisin (kuva 15). Vuoto aiheutti ilmanvaihtokonehuoneeseen huomattavaa ääntä.



Kuva 14. Tuloilmapuhaltimen kaavun tiiviste on hajonnut

Tiivistämällä tuloilmapuhaltimen kaavun ja tuloilmakammion välitys saatiin ilmavuoto loppumaan ja kanavapaine asettumaan, anturin uusimisesta tehtiin toimenpide-ehdotus. Toimenpiteillä tuloilmamäärä palautuu suunnitelluksi kyseisessä koneessa. Muita havaittuja vikoja olivat mm, paisunta-astioiden toiminnan kannalta liian suuret esipaineet, puhaltimen lapojen likaisuus, pattereiden ja lämmöntalteenoton likaisuus, molempien puhaltimien laakeriviat, hihna viat, hajonnut tuloilmapellin toimilaite ja hajoamassa ollut jäähdytyksen säätöventtiili. Saatujen havaintojen mukaan vaikuttaa todennäköiseltä tai vähintäänkin mahdolliselta, että tarkemmalla ja uudella huollon sisällöllä ja sen oikealla toteuttamisella voidaan vaikuttaa sisäilmaston laatuun niin ilman puhtauden, lämpötilan kuin suunnitelmien mukaisen ilmamäärien toteutumisen kautta. Huollon yhteydessä saatiin myös vahvistusta määräaikaishuoltoon lisättävien uusien toimenpiteiden tarpeellisuudelle (luku 5.2).

Ilmanvaihtokoneelle HAHTK04 oli suoritettu normaalit huollot, ja koneesta oli valmistunut juuri jopa kuntotutkimus. Silti löydettiin monia aikaisemmin huomaamattomia sisäilmas-

toon vaikuttavia vikoja, jotka pystytään nyt korjaamaan hallitusti ja vähentämään käyttäjälle aiheutuvaa haittaa. Uutta havaintojen välittymisen varmentamiseksi luotua yksityiskohtaisempaa raportointimallia kokeiltiin ja myös siitä saatiin hyvää palautetta.

## 5 Ylläpidon uutta ohjeistusta

Ilmastointilaitteiden kunto ja toimivuus heikkenevät käytön aikana, kuten muidenkin talotekniikan järjestelmien. Tämä johtuu laitteiden kulumisesta, likaantumisesta ja säätölaitteiden asetusarvojen muuttumisista. Toimivuuteen vaikuttavat myös oleellisesti laitteiden käyntijaksot vuositasolla sekä mahdollisesti käyttäjien virheelliset käyttötavat ja väärät säätötoimenpiteet. Ilmanvaihtokoneessa on paljon kuluvia ja säännöllistä huoltoa tarvitsevia osia.

Hoidon ja ylläpidon merkitys on myös sisäilmaston laadun kannalta ensiarvoisen tärkeää. Jos hoito- ja ylläpitotehtävät jäävät kokonaan tai osittain tekemättä, seuraa siitä ennen pitkää sisäilmaongelmia. Sisäilmanlaatua heikentää järjestelmän ja suodattimien likaantuminen ja ilmapurrojen muutoksista aiheutuneet paine-erot, ääniongelmien ja olosuhteiden muutokset. Myös lämpötilaa ja ilmamäärää ohjaavat anturit menettävät tarkkuutensa ajan kuluessa ja ilman kalibrointia halutut olosuhteet eivät toteudu (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012).

Hoidon ja ylläpidon laiminlyönti lyhentää myös ilmastointilaitteiden käyttöikää. Laitteiston osia joudutaan korjaamaan tai uusimaan normaalia useammin ja käyttöhäiriöt haittaavat sairaala toimintaa. Hyvin toteutettu kiinteistönhoito vastaavasti pidentää laitteiston ja koko rakennuksen elinkaarta auttaen myös säilyttämään sisäilmaston halutun laatutason (Myyryläinen 2008).



## 5.1 Vaatimukset laadukkaalle ylläpidolle

Huoltokirja liiteosineen on oikein käytettynä, hyödynnettynä ja ylläpidettynä arvokas tietolähde omistajalle, isännöitsijälle ja ylläpidolle (Sandberg 2014b). Huoltokirjan päivittäminen ja oikeellisuuden varmistaminen ovat ylläpidon suunnittelun ja toteuttamisen kannalta välttämätöntä. Ilmanvaihtokoneiden palvelualueet, konekortit ja huolto-ohjeet ovat välttämätöntä tietoa ylläpitoa suunniteltaessa ja toteutettaessa. Huoltokirjan päivityksen yhteydessä jo korjatut tiedot ovat hävinneet useampia kertoja, olisi luotava uusien päivityksien ja vastaisuuden varalle parempi varmistusratkaisu myös huoltokirjan toimittajan puolelta.

### Järjestelmien ja laitteistojen asiakirjat

Standardin mukaan ainakin seuraavat dokumentit on oltava saatavilla ja ajan tasalla:

1. Leikkausosaston ja sen IV-järjestelmän toiminnan ja rakenteen kuvaus
  2. Pohjapiirustukset ja kaaviot sekä niihin liittyvät laskelmat ja materiaalit sekä luovutusvaiheen todentamismittausten tulokset
  3. Kriittisten parametrien yleiskatsaus ja raja-arvot turvalliselle leikkaustilanteelle
  4. Kriittisten ja ei-kriittisten parametrien hälytyksien toiminta, hälytyksiin johtavat arvot ja niiden hyväksyttävät viiveajat
  5. Hygienia-, puhtaus- ja huoltosuunnitelmat
  6. Riskien ja niiden vaikutusten kuvaus
  7. IV-toimintakaavio
  8. Säättö- ja toimintakaaviot ja niihin liittyvät mittapisteet
  9. Lista varaosista ja vaihtotarvikkeista sekä toimittajien yhteystiedot
- Lisäksi järjestelmäasiakirjoihin tulee dokumentoida koko järjestelmän sujuvan ja oikeellisen käytön ohje, sekä tarkistus-, valvonta- ja huolto-ohjeet.

Building on Innovation



Kuva 15. Tuleva sairaalan ilmanvaihtostandardi edellyttää monien dokumenttien pitämistä ajan tasalla ja saatavilla (Vasara 2019)

Sairaaloissa on paljon erilaisia erikoistiloja ja tavanomaisesta poikkeavia ilmanvaihtoratkaisuja, ajan tasalla olevat palvelualuekaaviot ja periaatekaaviot olisi oltava huoltohenkilökunnalla käytettävissä ja helposti saatavilla. Uuden standardin myötä vaatimukset erilaisten dokumenttien pitämiseksi ajan tasalla lisääntyvät (kuva 15), riittävän yksityis-

kohtaisesti määritellyt tilakohtaiset sisäolosuhteiden tavoitearvot ja raja-arvot selkeyttävät myös poikkeus- ja virheolosuhteiden määrittelyä. Käytäntö olisi sovellettavissa jo nyt myös tavallisen ilmanvaihdon tiloihin sairaalassa.

Kaikki konekohtaiset käyttö ja huolto-ohjeet olisi oltava huoltohenkilökunnan tarkasteltavissa (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus Osa 17, 2017) ja tallennettava esimerkiksi pilvipalvelimeen jo vastaanottovaiheessa. Erityisen tärkeää tämä on kylmälaitteissa ja lämpöpumpuissa, joiden kohdalla myyjän on toimitettava ylläpitoa ja kunnossapitoa varten tarkan huolto-ohjeen sisältävä käyttöohje (SFS-EN kylmäkoneistot ja lämpöpumput 2016). Käyttöohjeisiin tulee sisältyä kylmäkoneiston toimintaohjeet ja varotoimet joita noudattaa käyttöhäiriön tai kylmäainevuodon sattuessa. Kylmä-laitoksen käyttöpaikan välittömässä läheisyydessä ja selvästi luettavissa tulee lisäksi olla kylmäkoneen konekortti. Konekortissa kerrotaan suurimmat sallitut paineet, hätäpysäytys ohjeet, kylmäaineen ominaisuudet ja tärkeät yhteystiedot kuten asennusliike, palokunta ja kylmäkoneesta vastuussa olevan nimi. Kylmäkoneen putkiston sijoituskaavio tulee olla liitettynä konekorttiin tai välittömässä läheisyydessä (SFS-EN kylmäkoneistot ja lämpöpumput 2016). Kylmäjärjestelmiin kuuluvien höyrystimien ja lauhduttimien puhtauden- ja tehonseurantaa helpottaisi huomattavasti kylmäkertoimiin perustuvan trendiseuranta-käyrän liittäminen automaatioon.

Ilmanvaihtokoneiden yhteydessä ilmoitetut puhtaan ja likaisen suodattimen raja-arvot on päivitettävä vastaamaan uusimpia suodatinmateriaaleja ja tämän jälkeen päivitetty tiedot on vietävä myös rakennusautomaation liitettyjen suodatinvahtien hälytysrajoihin. Suodattimen valmistajalta saatujen arvojen perusteella voidaan paremmin valvoa suodattimen likaisuutta, vaihtotarvetta esimerkiksi rakennustöiden yhteydessä ja havaita myös mahdolliset ohivuodot suodatinkammion tai suodatinkehiksen välistä. Kaupunkien alueella hiukkaspitoisuus vaihtelee riippuen tuloilma-aukkojen sijainnista. Suodatuksen tarve on nykylainsäädännön mukaan erilainen riippuen ulkoilman hiukkaspitoisuudesta (SFS-EN ISO Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet 2016) ja voisi olla tarpeen selvittää nykylainsäädännön vaikutuksia valittuihin suodattimiin. Mikäli pyritään sairaaloille tyyppilliseen parhaaseen sisäilmaluokkaan SUP 1 ja ulkoilma on kaupunkien keskustoille tyyppillinen ODA 3, tämä tarkoittaa suodatuksen lisäämistä joissakin tapauksissa. Asian selvittämiseksi on kuitenkin tutkittava ulko- ja sisäilman pienhiukkaspitoisuudet.

Sairaalatilojen luokittelua olisi mahdollisuuksien mukaan selkeytettävä, ilmanvaihdon puhtausstandardi luokittelee kaikki sairaalan hoitotilat korkeaan puhtausluokkaan ja sairaalan yleiset tilat keskitason puhtausluokkaan (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012). Sairaaloissa on ilmeisesti kuitenkin tiloja, jotka ovat puhdastiloiksi nimettyjä, vaikkei niihin sovelleta samanlaista pienhiukkasvalvontaa kuin varsinaisissa puhdastiloissa. Tällä hetkellä voimassa olevan standardin mukaan näihin väliinputoaja tiloihin olisi kuitenkin sovellettava korkean tason puhtausluokan rajoja hyväksyttävien epäpuhtausmäärien suhteen, rajat ovat vain viides osa kaskitason rajoista ja kyseessä on huomattava kustannus puhdistus- ja nuohouskulujen näkökulmasta. Asia tuli esille myös tutkimusosassa tehdyissä asiantuntija haastatteluissa.

Uusia työkaluja tarvitaan jo hankitun Velocicalc 9565 -mittarin lisäksi. Tarvittavia työkaluja ovat ainakin lamellikampa pattereita ja lämmöntalteenottoa varten, glykolipitoisuusmittari pakkasen kestävyys ja lämmönsiirtokyvyn selvittämiseksi ja lämpömittariksi vähintään infrapunalämpömittari riittävällä tarkkuudella. Suositeltavaa olisi hankkia myös lämpömittari, joka käy suoraan anturin reikään, jotta tarkkuus olisi paras mahdollinen. Pieni merkkisavu olisi hyödyllinen paine-erojen selvittämistä varten. Lämpökameraa voidaan hyödyntää paitsi lämpö- ja ilmapuotojen, myös putkitukosten selvitystyössä.

## 5.2 Huollon muutokset lyhyesti

Muutoksena aikaisempaan uudessa huoltosisällössä on aikaisempaa yksityiskohtaisemmat kuvaukset tehtävistä tarkastuksista, mutta myös kokonaan uusia tehtäviä on lisätty. Uuteen sisältöön on lisätty rakennusautomaatioon ja ilmanvaihdon ohjaukseen liittyvää huollon osuutta, mutta myös puhtauden seuranta ja puhdistustyötä on ohjeistettu tarkemmin ja havaintojen raportointiin kiinnitetään aikaisempaa enemmän huomiota. Haastatteluissa saatiin jo vihjeitä joidenkin konetta säättävien antureiden kalibrointien ja tarkistusten tarpeellisuudesta ja asialle saatiin vahvistusta väliarviointihuollossa sekä myös teorialähteistä (Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto 1994; Holopainen ym. 2012.; Kärki & Hyvärinen 1997). Uudessa huoltosisällössä tarkastetaan säännöllisesti sekä ilmamäärää että lämpötilaa säättävät anturit, niiden ohjauksen oikeellisuus ja toimilaitteiden toiminta. Suodatinvahtien oikean toiminnan varmistamiseksi suodattimien paine-eroanturit kalibroidaan ja niiden toiminta tarkastetaan säännöllisesti. Anturit ovat

herkkiä vikaantumaa, sisäilmaston toteutumisen kannalta niiden oikea toiminta on kuitenkin välttämätöntä.

Uudessa ilmanvaihtohuollon toimintatavassa on huollon toteuttajilla mahdollisuus toteuttaa myös erilaisia ilmanvaihtoon liittyviä tarkistusmittauksia entistä helpommin, kuten tarkistaa ilmamääriä, huoneeseen tulevan ilmanlämpötiloja ja paine-eroja. Ilmanvaihtotilille käyttöön on hankittu monipuolinen Velocical 9665 -mittari monine lisälaitteineen, joten ongelmatapauksissa reagointi on aikaisempaa nopeampaa ja asian käsittely voidaan myös käynnistää helpommin.

### 5.3 Huollon toteutus

Ilmanvaihtokone tai ilmastointikone koostuu periaatteessa aina samoista osista, aina ei tietysti kaikkea tarvita ja kokoonpano voi vaihdella. Ilmastointikone on koko järjestelmän keskeinen osa. Aistinvarainen havainnointi ja poikkeavien äänien kuuntelu ovat tärkeä osa huoltoa ja ylläpitoa. Ihminen tottuu nopeasti muuttuneisiin olosuhteisiin, joten aistinvarainen havainnointi tehdään heti konehuoneeseen tai tutkittavaan tilaan saavuttaessa. Siisteyden lisäksi kiinnitetään huomiota epänormaaleihin ääniin, joita saattaa ilmetä mm. ilmavuodoista, puhaltimen laakereista, rikkoutuneesta toimilaitteesta tai pumpuista.

Ennen koneen sammuttamista varmistetaan lämpö ja painemittareista koneen normaali käyttäytyminen ja lämpötilojen normaali kehitys. Tulo- ja poistoilman lämpötilan on muuttava yhteen suuntaan ja lämpötilan edestakaisen sahaamisen syy ilmankäsittelykoneen sisällä on aina selvitettävä. Ilmanvaihtokone sammutetaan rakennusautomaatiosta tai ryhmäkeskukselta ja turvakytkimistä. Suositeltavaa on lukita turvakytkin riippulukolla

### 5.4 Kuukausihuollot

Ilmanvaihtohuollolle tyypillistä on tarkastuspainotteisuus, näin toteutettu huolto on ehkäisevää eli pyritään ennakkovalvonnalla estämään häiriötekijät ja pitämään ilmanvaihtolaitos toimintakunnossa. Kuunnellaan, katsellaan ja kiinnitetään huomiota kaikkeen normaalista poikkeavaan. Aistinvaraista havainnointia tehdessä oleellista on havaintojen

ylös kirjaaminen ja raportointi, ellei ilmennyt vika edellyttä välitöntä korjaamista. Kuukausittaisia tarkastuksia tehdään konehuoneisiin ja vesikatolle.

## 5.5 Ilmanvaihtokone määräaikaishuolto

Lämmöntalteenottojärjestelmällä varustettu tulo- ja poistoilmanvaihto on herkkä likaantumisen ja ikääntymisen, järjestelmä kestää hyvin rakennukselle tehtäviä muutoksia niiden parantaessa yleensä ilmatiiviyttä. Järjestelmän vikaherkkyys kasvaa ikääntymisen myötä ja vanha järjestelmä tarvitsee yleensä enemmän huoltoa kuin uusi vastaava. Kaiken tyyppisten ohjaus- ja säätölaitteiden kohdalla vikaantumisen riski kasvaa (SFS-EN Rakennusten energiatehokkuus Osa 17, 2017). On tärkeää raportoida huollon yhteydessä huomattua likaantumista ja järjestelmän kulumisesta eteenpäin, jotta korjaukset voidaan hallitusti ja mahdollisesti ryhmittää useampi koneita taloudelliseksi kokonaisuudeksi.

### 5.5.1 Ulkoilmasäleiköt

Ulkoilmasäleikön kuntoa seurataan ja tarvittaessa roskat puhdistetaan. Ritiään tarttuneet roskat nostavat ilman otsapintanopeutta, jolloin sade ja lumi tunkeutuvat helpommin ja syvemmälle tuloilmakanavaan ja raitisilmakammioon. Otsapintanopeuden ohjeellinen maksimi arvo on 1 m/s. Ruostuneeseen säleikköön roskat tarttuvat helpommin, jolloin myös laitteiston toiminta häiriintyy helpommin ja ylimääräinen painehäviö nostaa myös energiankulutusta sekä rasittaa laitteistoa (Korkala 2016).

### 5.5.2 Ulkoilmapelti, palautusilmapelti

Ulkoilmapellin tarkoituksena estää ilman pääsy tuloilmakoneeseen ja kanavistoon ilmanvaihdon ollessa pysäytettynä. Tarkastetaan akselien, vivuston ja toimimoottorin toiminta ja puhdistus sekä puhdistetaan myös säleet tarvittaessa. Peltien tulee aueta ja sulkeutua kokonaan ilmanvaihdon ollessa päällä. Toimimoottori ja pellit saattavat tarvita voitelua. Tarkemmat ohjeet esimerkiksi vikatilanteita varten toimitusohjeiden alla (luku 5.5.9).

### 5.5.3 Ulkoilmakammio

Kammioon päätyy toisinaan lunta tai sadevettä, tarkastetaan viemäröinnin toimivuus ja puhdistetaan kammio tarvittaessa. Ulkoilmakammion on oltava riittävän suuri, jotta ilman nopeus putoaa tarpeeksi alhaiseksi eikä ilman sisältämä kosteus kulkeudu suodattimiin. On normaalia, että kammioon kerääntyy kosteutta ja lehtiä, kammio on siksi tärkeää puhdistaa ja varmistua viemäröinnin kunnosta.

### 5.5.4 Suodattimet

Suodattimen likaantuessa paine-ero suodattimen yli lisääntyy. Mikäli suodattimessa on reunavuotoja, painehäviö ei korreloi suodattimien kuormittuneisuuteen tai vaihtotarpeeseen. Suodattimien takapinnan tummuuden arviointi on osoittautunut myös luotettavaksi suodattimen kuormittuneisuuden mittariksi (Sisäilmaluokitus 2018). Pöly kerääntyy suodattimen sisälle ja tummentaa suodattimen pinnan myös ulkopuolelta katsottuna. Paras vaihtoehto on kuitenkin suodatinvahdin oikea toiminta, joka edellyttää mahdollisten ohi-voitojen tiivistämistä ja suodattimen vaihtotarpeesta kertovan painehäviön ohjelmointia myös automaatioon.

Tarkastetaan vaihdettavien suodattimien luokat ja vaihdetaan suodattimet määräaikaishuoltojen yhteydessä eli vaihtoja tulee vähintään kaksi kertaa vuodessa. Paras aika suodattimien vaihdolle on syksy, jolloin kesällä kerääntynyt siitepöly ja muu orgaaninen aines saadaan pois järjestelmästä. Tarkastetaan, että suodatinpussit ovat ehjät. Suodatinpussit tulevat aina pystysuoraan. Varmistutaan suodatinvahdin toiminnasta ja kirjataan puhtaan suodattimen painehäviö ylös. Suodatinkammio ja kiinnityskiskot imuroidaan ja pyyhitään kostealla rätillä vaihdon yhteydessä ja ovien ja salpojen tiiviidet ja toiminta tarkastetaan. Työn aikana on käytettävä moottoroitua hengityksen suojainta, siihen kuuluvaa ylipainemaskia ja kertakäyttöistä suojapukua. Kaikkia erikoistilojen ilmanvaihtojärjestelmiä huollettaessa ja erityisesti suodattamia vaihtaessa on käytettävä suojaimia. Kertakäyttöiset suojat hävitetään ja muut suljetaan tiiviisti ennen puhdistusta ja desinfiointia. Likainen suodatin suljetaan pakkauksen mukana tulleet pussiin ja vietään jätehuoltoon.

### 5.5.5 Puhaltimet

Ilmanvaihtokone voi sisältää tulo- ja poistoilmapuhaltimen tai vain toisen. Ilmanvaihtokoneissa on lähinnä keskipakois- ja aksiaalipuhaltimia. Puhaltimelle tehdään seuraavia toimenpiteitä:

- Puhaltimien, puhallinkammion ja moottoreiden puhdistus imuroimalla irtoroskat, tarvittaessa puhdistusvaahdolla tai pirtulla puhallinkammio ja siivekkeet.
- Laakereiden kunnon tarkastus ja vaihto tarvittaessa. Useimmiten laakerit ovat kestovoideltuja, joten yleensä voitelua ei tarvita. Ehjä ja kunnossa oleva laakeri ei kitise, rahise tai värähtele. Yleensä laakeria pystyy koskemaan käsin, 100 °C lämpö on jo liikaa. (Korkala 2016.) Laakerit tarkastetaan puhaltimesta ja sähkömoottorista hihnavetoisissa malleissa.
- Tärinänvaimennuskumien tarkastus ja vaihto tarvittaessa
- Kiilahihnojen ja hihnapyörien kunnon ja kireyden tarkastus ja tarvittaessa linjaus, säätö tai vaihto. Mikäli yksikin rinnakkaisista hihnoista vioittunut, on kaikki vaihdettava. Vaihdetujen tilalle on tilattava uudet varahihnat.
- Pyörimissuunnan tarkastus
- Ovien tiiviiden tarkastus ja tiivistys tarvittaessa.

### 5.5.6 Lämmöntalteenotto

Konehuoneeseen tultaessa tarkistetaan lämpötilojen normaalikäyttäytyminen lämmöntalteenoton molemmin puolin. Lämmöntalteenoton tyypistä riippuen tarkastetaan seuraavat asiat:

Patteri-patteri lämmöntalteenotto

- liuoksen määrä (paine)
- kiertopumppu (ääni, vuodot, lämpötila)
- paisuntalaitteet (painemittari, hälytysrajat, varoventtiilin tiiviys)
- putkisto (vuodot)
- patterien puhtaus (imurointi tarvittaessa)
- kondenssivesiputkisto (puhtaus)
- liuoksen pakkasenkestävyyden tarkistus (30 %)
- hälytykset, automatiikka.

#### Pyörivä talteenottokenno

- voimansiirto ja laakerit
- tiivisteet (harjakset)
- kennojen puhtaus (puhdistus tai toimenpide-ehdotus tarvittaessa)
- luukkujen tiiviys
- hälytykset, automatiikka.

#### Levylämmönsiirrin

- siirtimen puhtaus
- kondenssiputkisto
- luukkujen tiiviys



- säätöpellistö ja automatiikka.

Yleensä käytetään 30 %:n vesi-glykoliseosta ilmanvaihdon järjestelmissä, kuten lämmöntalteenotossa ja jäähdytyksessä. Glykolipitoisuus olisi mitoitettava tarkasti. Liian alhainen pitoisuus lisää jäätymisen riskiä, kun taas liian korkea kasvattaa viskositeettiä ja pienentää seoksen ominaislämpökapasiteettia ja lämmönsiirtokykyä. Viskositeetin lisääntyminen puolestaan kasvattaa pumppaus kustannuksia ja ominaislämpökapasiteetin muutos huonontaa hyötysuhdetta (Heinilä 2013).

#### 5.5.7 Viemärointi

Tarkastetaan koneikon viemäroinnin toiminta ja kunto. Puutteista raportoidaan ja vesilukkoon lisätään tarvittaessa vettä. Vesilukon kuivuminen saattaa muodostaa vapaan reitin kammiosta konehuoneeseen aiheuttaen siten ohivuotoa suodattimen ohi.

#### 5.5.8 Lämmityspatteri

Tarkastetaan puhtaus, ja mahdolliset vuodot ja puhdistetaan tarvittaessa. Ilmaus tarvittaessa. Vääntyneet lamellit suoristetaan lamellikammalla. Automatiikan toiminta mukaan lukien jäätymisenesto on tarkistettava vähintään syksyisin.

#### 5.5.9 Jäähdytyspatteri

Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota puhtauteen ja kondenssi viemärointiin sekä mahdollisiin korroosioaurioihin. Jäähdytyksen ollessa päällä, tarkastetaan onko pinnat kylmät tasaisesti joka puolelta. Tarkastetaan vesipiirin lämpötilat ja kierto. Vääntyneet lamellit suoristetaan lamellikammalla. Jäähdytyspatteri ilmataan tarvittaessa.

#### 5.5.10 Toimiyksiköt ja säätöventtiilit

Toimiyksiköt, toimielimet ja toimilaitteet ovat säätölaitteiden eniten huoltoa vaativia komponentteja (Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto 1994). Toimilaitteille tehtäviä erilaisia toimenpiteitä:

- Tarkista moottorin koteloinnin kunto ja kiinnitys sekä puhdistus tarvittaessa.
- Tarkista kannen tiiviste ja kansi sekä varmista läpivientien tiiviys.
- Voitele tarvittaessa vetopyörästä, vetoakselit ja laakerit.
- Tutki toimielimen liikkuvuus, ääriasennot ja ääriasentojen rajakytkimet.
- Testaa toiminta sähkökatkoksen aikana, esim. jousipalautus
- Tarkista peltien vipuvarsien kiinnitys, liikkuvuus ja ääriasennot.
- Tarkista, sulkeutuvatko pellit tiiviisti
- Voitele peltien akselit.
- Tarkista säätöventtiilien vuodot.
- Tarkista säätöventtiilien karatiivisteiden kunto
- Tarkista venttiilien sulkeutuminen (voi estyä esim. roskien päästyä venttiiliin)
- Mikäli säätöventtiili pitää rahinaa on se elinkaarensa loppupuolella ja vaihdettava

#### 5.5.11 Jäähdytys

Glykolipitoisuuden tarkastus jäähdytysverkostosta, tarkastetaan myös verkoston paineet suhteessa paisunta-astian esipaineeseen. Lisätään tarvittaessa 30 %:n vahvuista vesiglykoliseosta. Huollossa tarvittavat tiedot kuten suurimmat sallitut paineet löytyvät konekortista jonka olisi oltava koneen välittömässä läheisyydessä (SFS-EN kylmäkoneistot ja

lämpöpumput 2016). Lisäksi tarkastetaan putkiston vuodot ja valmistajan käyttöohjeen mukaiset mahdolliset muut tarkistukset.

#### 5.5.12 Anturit

Ilmanvaihtoa ohjaavat anturit ovat myös kalibroitava säännöllisin väliajoin, jotta varmistetaan suunnitellun ja halutun lämpöisen tuloilmamäärän saamisesta sisälle rakennukseen.

##### Kanava-anturi

Anturin toiminta on syytä tarkastaa säännöllisesti. Tuloilman lämpötilan säädössä käytettävä nopea anturi on kooltaan pieni ja mekaanisesti heikko rakenteeltaan. Tarkista suojaputken kunto ja anturin kiinnittyminen siihen. Anturi voi helposti likaantua. Anturiin ei saa koskea puhdistettaessa. Puhdista puhaltamalla (Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto 1994). Anturin toiminta on hyvä tarkastaa myös käsikäyttöisellä riittävän tarkalla lämpömittarilla ja kalibroida tarvittaessa rakennusautomaation kautta. Vanha kalibrointi on ensin poistettava, sillä lämpötila-anturilla voi olla kerrallaan voimassa vain yksi kalibrointi kerroin. Anturi kalibroidaan, mikäli poikkeama on 1 C° tai enemmän.

##### Pintalämpötila-anturi

Vesiputken pintalämpötila-anturi mittaa oikein, kun anturirakennelma, joka voi olla putken ympäri ulottuva panta, koskettaa tiiviisti putkea. Tarkista, että lämmönjohtuminen putkesta anturiin on riittävän hyvä. Anturi kalibroidaan, mikäli poikkeama on 1 C° tai enemmän.

##### Paine-eroanturit

Paine-eroa mitattavana suureena voidaan mitata suodattimen tai esimerkiksi tuloilmapuhaltimen molemmiin puolin. Ilmavirtojen mittauksissa käytetyt paine-eroanturit (kuva 16) ovat herkkiä mekaanisilta rakenteiltaan, ja nopeat paineenmuutokset puhaltamalla voivat

rikkoa anturin kalvon. Tarkista, että mittausputket ovat oikeissa mittauskohdissa ja oikeinpäin ja että putkissa ei ole jyrkkiä taitoksia. Ilman läpivirtaukseen perustuva paine-eroanturi on herkkä likaantumaan ja on puhdistettava tarvittaessa (Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto 1994). Paine-eroon perustuva ilmanvirtausnopeusanturi on tarkistettava kuten paine-eroanturi. Ilmanvaihtolaitteiston on pystyttävä säätämään kanavapaine siten, että oikeaan arvoon tuleva poikkeama on enintään 5 %. Järjestelmän ilmamäärää säättävän tuloilmakekanavan paineanturin on kuitenkin oltava mahdollisimman tarkka, ja se on aina virhetapauksissa kalibroitava. Anturi on uusittava, mikäli kalibrointi ei kyseisellä mallilla ole mahdollista. Letkujen irrottamisen jälkeen varmistetaan anturin tiivis liittyminen mittaletkuun lyhentämällä letkua tarvittaessa.



Kuva 16. ProDual-paine-erolähetin on yleinen sairaaloiden ilmanvaihtojärjestelmissä

#### Ilmankosteusanturi

Ilmankosteusanturi on herkkä mekaanisille vaurioille ja likaantuu helposti. Puhdista tarvittaessa. Noudatettava huolto-ohjeita tarkasti. Anturi on kalibroitava määrävälein (Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto 1994).

### 5.5.13 Automaation koestus

Rakennusautomaatiojärjestelmä liittyy ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien säätö, ohjaus ja hälytys toimintoihin. Järjestelmä koostuu yleensä valvomosta, alakeskuksista, kenttälaitteista ja itsenäisistä säätimistä. Oikean ja suunnitelmien mukaisen toiminnan varmistamiseksi myös automatiikka on tarkastettava säännöllisesti. Syksyllä ennen pakkaa ilmanvaihtokoneelle on tehtävä automatiikan koestus. Koestuksen tehtäviä ovat käyntiajan säädöt, jäätymissuojan tarkistus, toiminta koneen käynnistyessä, seisonta-ajan säätö, peltien toiminta ja tiiviys, säätöventtiilien liike ja tiiviys kiinniasennossa, hälytykset, lukitukset, sähkökatkostoiminnot, mittausten oikeellisuus ja aikaohjelmien tarkistus.

Järjestelmässä on useita laitteita, joiden tulee toimia käyttötilanteessa toisistaan riippuvalla ja ennalta suunnitellulla tavalla. Asia on varmistettu lukituksilla, joiden toiminta on syytä tarkastaa konetta huollettaessa. Käytetyt lukitukset selviävät kyseisen ilmanvaihtokoneen toimintakaaviosta ja toimintaselostuksesta. Yleisiä lukituksia ovat pumpun ja puhaltimen lukitseminen yhteen ja tulo- sekä poistopuhaltimen lukitseminen toisiinsa. Lukituksen toimimisen edellytyksenä on automaattiasento automatiikassa.

## 6 Erikoistilat ja painesuhteet

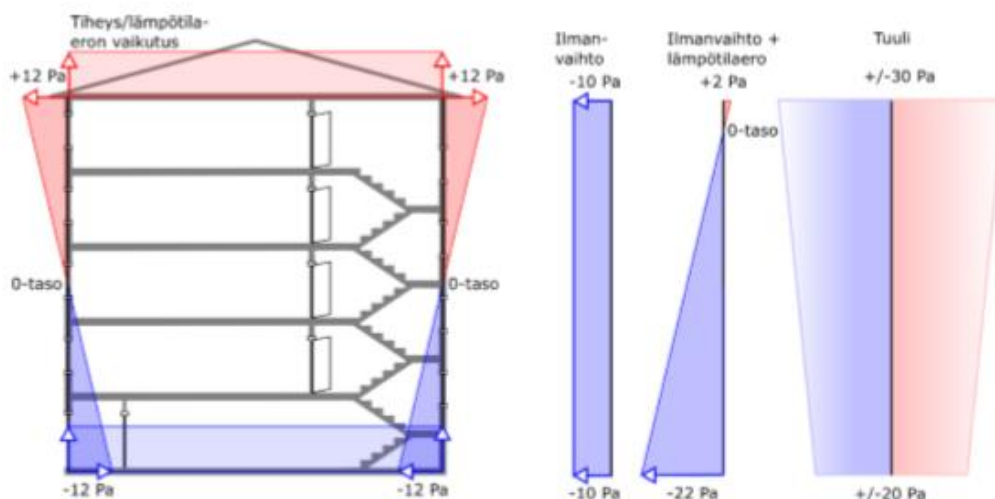
Puhdastiloissa ja leikkaussaleissa käytetään painesuhteita ilman liikkumisen hallintaan. Siirtoilman on liikuttava aina puhtaammasta tilasta likaisempaa (Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017). Ilman siirtymisen avulla luoduilla painesuhteilla estetään epäpuhtauksien leviämistä puhtaammiksi luokiteltuihin tiloihin. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat tekijät ovat ilmanvaihto, ilman lämpötila- ja korkeuserosta johtuva savupiippu ilmiö ja tuulen aikaansaama tuulenpaine.

Rakennuksen painesuhteet saattavat tilapäisesti muuttua ulkoisista poikkeus olosuhteista johtuen. Normaalitilat sairaalassa suunnitellaan tasapaineisiksi, tuulenpaine voi kuitenkin voimistaa jo olemassa olevaa termistä paine-eroa eli savupiippuilmioita, jolloin

myös puhdastilojen painesuhteiden vaikutukset saattavat tilapäisesti ulottua normaalia pidemmälle.

Terminen paine-ero, joka perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötila- ja tiheyseroihin, aiheuttaa ilman virtausta yläkerroksista vuotoilmana ulos ja alakerroksista vuotoilmana sisään (kuva 17). Tuulenpaineen vaikutus taas tuo ilmaa sisään tuulenpuoleisen julkisivun vuotoireittien kautta ja ulos muilta julkisivuilta (Eskola & Björkroth 2019). Ilmiöt vahvistavat toistensa vaikutusta ja saattavat aiheuttaa hallitsematonta ilman liikkumista rakennuksen sisällä.

Rakennuksen tiiviys vaikuttaa oleellisesti tuulenpaineen ja termisen paine-eron luomiin ilmapuotoihin ja siitä johtuviin painesuhteiden muutoksiin. Rakennuksen ilmapuoluku kertoo rakenteiden välistä vuotavan ilmamäärän paine-eron ollessa 50 Pa, ja sitä voi käyttää apuna rakennuksen tiiviyyttä määriteltäessä. Paine-erojen hallinnan kannalta haastavia kohteita ovat korkeat rakennukset, joissa paine-erojen hallintaa helpottavat osastoinnit ja vyöhykkeet sekä niiden välisten ovien ja ikkunoiden pitäminen suljettuna. Energiansäästönä tehdyt aikaohjelma muutokset on tehtävä tasaisesti kaikille koneille, myös likaisten tilojen huippuimureille, jotta paine-erot eivät kasva liian suuriksi ja vaaranna hygienian toteutumista sairaalassa (Eskola & Björkroth 2019).



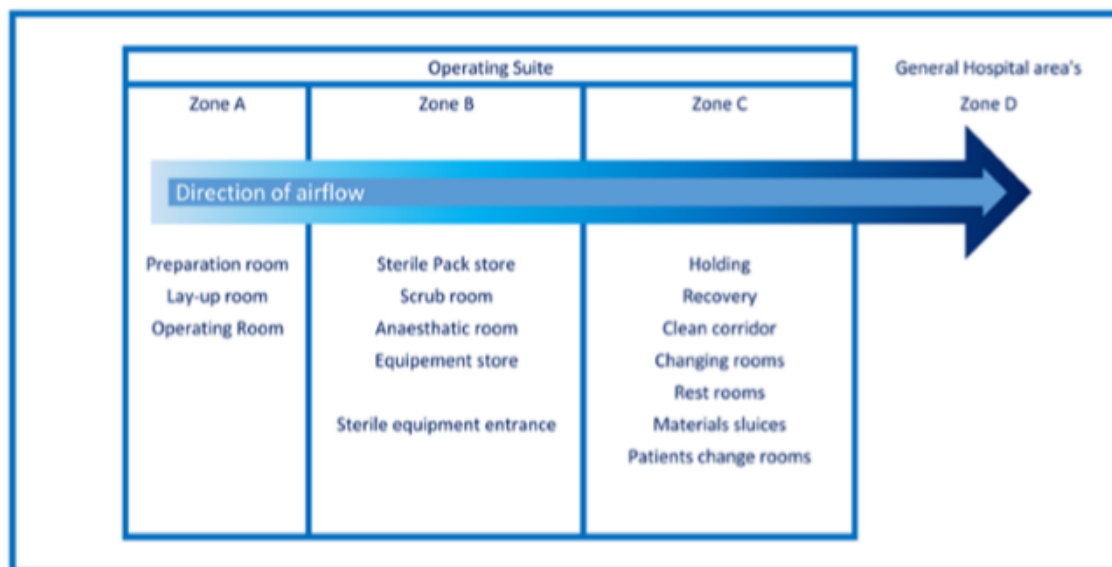
Kuva 17. Termisen paine-eron, ilmanvaihdon, tuulen ja lämpötila/tiheyseron yhteisvaikutus, teoreettinen malli, jossa ilmanvaihto 10 Pa alipaineinen (Eskola & Björkroth 2019).

Vaikka ilmanvaihdolla pystytäänkin tarvittaessa luomaan erilaisia painesuhteita, ei normaali ilmanvaihdolla pystytä niitä aina säilyttämään niitä rakennuksen muuttuvissa ulkoisissa kuormitustilanteissa, kuten kovassa tuulessa, vaan ratkaisut tulee tehdä rakenteellisin keinoin. Pyöröovet tai riittävän pitkät tuulikaapit rakennuksen alakerrosten sisäänkäynneissä, hissin odotusalueen erottaminen seinillä muusta kerroksesta sekä porraskuilukatkot ovat esimerkkejä tällaisista toimenpiteistä (Eskola & Björkroth 2019).

Puhdastilat kuten leikkaussalit, eristystilat ja lääkevalmistustilat on juuri siksi rakennettava erityisen tiiviiksi (Enbom ym. 2012). Yhteistä puhdastiloille on myös käynti sulkutilan kautta, jonka puhtautta valvotaan lähes yhtä tiukasti kuin itse puhdastilaa. Paine-erot eri vyöhykkeiden kesken ovat tavallisesti 5-15 Pa, asia on tarkistettava puhdastilan dokumenteista (Vasara 2019). Erikoistilojen ilma tulee aina olla HEPA-suodatettua normaalisuodatuksen lisäksi.

#### 6.1.1 Leikkaussalit

Painesuhteiden lisäksi leikkaussalien erityispiirteenä on hiukkaspitoisuuden hallinta ja olosuhteiden toteutumista seuraava normaalitiloja huomattavasti tiukempi valvonta. Leikkaussalin ilman mikrobi- ja partikkelimäärä on merkittävin leikkausalueen infektion syntyyn vaikuttava tekijä (Vasara, 2019). Ilman mikrobimäärä, taas on suorassa suhteessa salissa liikkuvien ihmisten määrään sekä heidän pukeutumiseen. Pukeutumisen taso riippuu sovellettavasta puhtausluokasta ja pukeutumisessa on aina noudatettava annettuja tilakohtaisia ohjeita. Ennen tilaan menemistä on ilmoitauduttava tilasta vastaavalle henkilökunnalle.



Kuva 18. Painesuhteiden ja ilmavirtauksien periaate (Vasara, 2019).

Leikkausaleille poikkeuksellista ylläpidon suhteen on sisäolosuhteiden jatkuva seuranta ja poikkeuksista hälyttäminen. Syyt suunnitelmien vastaisiin arvoihin on aina selvitettävä. Leikkausali-ilmanvaihdon ylläpitoon sisältyvät järjestelmän toimivuuden määrääikaistestaukset kuten ilmavirtojen määrät, HEPA-suodattimien vuototesti, lepotilan toipumismittaus ja paine-eroantureiden kalibrointi (SFS-EN ISO Puhdastilat ja puhtaat alueet osa 4: suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys, 2015). Leikkaussalien erityisvaatimuksista on tarkemmin erikseen julkaistussa leikkaussalien suunnitteluohjeessa. Määräaikaishuoltoja leikkausaleille suunniteltaessa on otettava huomioon suuri käyttöaste. Huolto aika on sovittava jopa 3 kuukautta etukäteen salista vastaavan henkilökunnan kanssa.

#### 6.1.2 Lääkevalmistustilat

Lääkevalmistustiloja koskevat samat erityisehdot kuin leikkaussaleja vaikka puhtausluokittelu tapahtuukin GMP-luokituksen eikä SFS-EN-ISO 14644 -standardin mukaisesti, kuten leikkausaleissa tai eristystiloissa. Tiloissa on mahdollisesti myös laminaari-, veto-, tai biosuojakaappeja, joiden toiminta saattaa olla kytketty yleisilmanvaihtoon. Kaikki huoltotoimenpiteet ja käyttökätköt on sovittava tiloja käyttävän henkilökunnan kanssa erikseen ja huoltotoimenpiteet on tehtävä aina valmistajan ohjeiden mukaisesti (SFS-EN



Vetokaapit osa 2 turvallisuutta ja suorituskkyä koskevat vaatimukset, 2003). Pukeutuminen riippuu noudatettavasta puhtausluokasta ja pukeutumisessa on noudatettava henkilökunnan ohjeita. Minimivaatimuksena ja työturvallisuuden näkökulmasta on pukeutua riittäviin hengityssuojaimiin ja kertakäyttöiseen suojapukuun, joka puetaan tilaamentäessä ja riisutaan sieltä poistuttaessa. Myös kengät on suojattava ja pukeutuminen tehtävä sille varatussa tilassa ja kontaminaatiota välttämällä (liite 2).

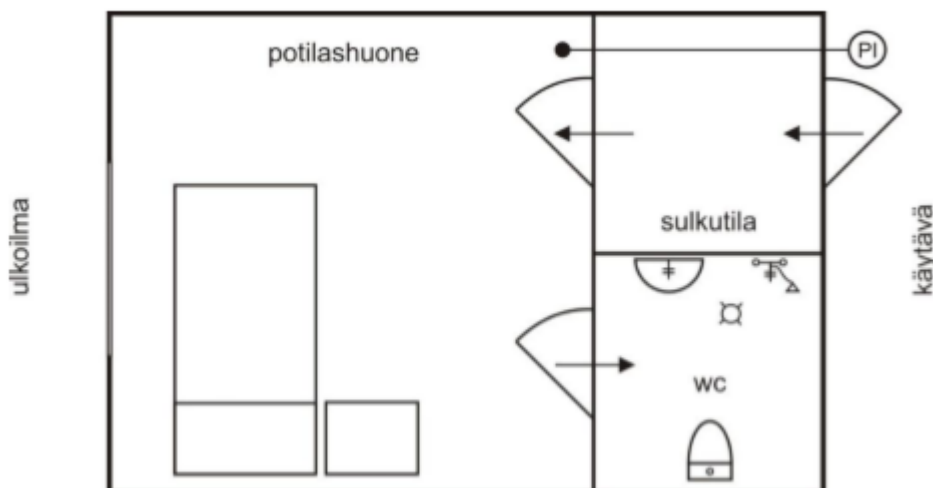
Lääkevalmistustilat ja vetokaapit suunnitellaan käyttäjän turvallisuuden takaamiseksi ja vaikka vaikutukset ympäröivien tilojen painesuhteisiin pyritään pitämään minimaalisina, niin käytännössä vaikutuksia kuitenkin on. Poistokanavan suunnittelupaine on huomattavasti suurempi kuin tulokanavan ja säätöjärjestelmästäkin tulee viivettä, joten vetokaapin aikaansaaman alipaineipiikin tasaamiseen kuluu hetki, vaikka järjestelmä toimisikin suunnitellusti. Laboratorion ilmanvaihto järjestelmät vetokaappeineen ovat lisäksi herkkiä muutoksille ja jälkeinpäin tehdyt muutokset ovatkin aina riski kokonaisuuden toiminnalle (Eloranta 2019). Rakennusautomaation, antureiden ja ilmamääränsäätöpeltien suunnitelmien mukainen toiminta on tärkeää varmistaa ja ilmoittaa heti vioista ja häiriöistä, koska vaikutukset saattavat näkyä vasta viereisissä tiloissa.

Väliseinien ja rakennuksen ollessa tiivis voidaan lääkevalmistustilojen ilmanvaihto toteuttaa pienemmin paine-eroin ja tiiviimmän seinärakenteen vähentäessä edelleen ilmapuotoja viereiseen tilaan, saadaan kaksinkertainen hyöty painesuhteiden haittojen hallintaan muualla rakennuksessa. Elementtirakenteinen seinä vähentää viereiseen tilaan kohdistuvat painesuhteen heittelyt murto-osaan muuhun seinärakenteeseen nähden. (Eloranta 2019.) On esimerkkejä, joissa haitalliset painesuhteiden vaihtelut ovat nostaneet jopa kellarikerroksesta asti suodattamatonta epäpuhdasta ilmaa ja pilanneet sisäilman laadun, vaikka suodatus muuten onkin ollut riittävää (Reijula 2005).

Yhtenä ratkaisuna voisi olla järjestelmän toiminnan kytkeminen ovien sähkölukkoihin, jolloin vetokaapin käyttö onnistuisi vain ovien ollessa kiinni. Painesuhteiden pitkäaikaiset mittaukset viereisissä tiloissa voisivat antaa kuvan vetokaappien vaikutuksista muuhun rakennukseen ja antaa kuvaa järjestelmän kyvystä säätää painesuhteita nopeasti. Hankinnoissakin olisi ehkä kiinnitettävä enemmän huomiota mahdollisiin haittoihin pyrkimällä entistä tiiviimpiin seinärakenteisiin.

### 6.1.3 Eristystilat

Eristystilojen olosuhteita ja toimintaa ei ohjeisteta standardein kuten lääkevalmistustiloja tai leikkaussaleja. Eristystila on tarpeen mukaan yli- tai alipaineinen sulkutilaan ja käytävään nähden (kuva 19), ja tilan oikea toiminta edellyttää painesuhteiden seuraamista ja oikeellisuutta. Eräissä tutkimuksissa on havaittu puutteita paine-eromittareidenkalibroinneissa eristystilojen osalta (Salmi ym. 2012).



Kuva 19. Periaatekuva tartuntaeristystilasta (Enbom ym. 2012).

Huoltotoiminnassa on noudatettava erityistä huolellisuutta suojainten käytössä ja tilaan menemisestä on sovittava vastaavan henkilökunnan kanssa. Kertakäyttöiset suojaimet saadaan osastolta, puetaan ennen sisälle monoa ja riisutaan pois lähtiessä. Suojavarusteet hävitetään käytön jälkeen, on suositeltavaa käyttää kertakäyttöisiä suojaimia, jolloin mahdollisesti kontaminoituneita varusteita ei tarvitse kuljetella tai puhdistaa jälkikäteen. Pukeutumisessa käytettävät yksityiskohtaiset ohjeet ovat liitteessä 2. Eristystiloista ulos johdettavan ilman ulospuhallusaukkojen läheisyydessä on käytettävä suojaimia ja ulospuhallusaukot pitää olla erikseen merkittyjä.

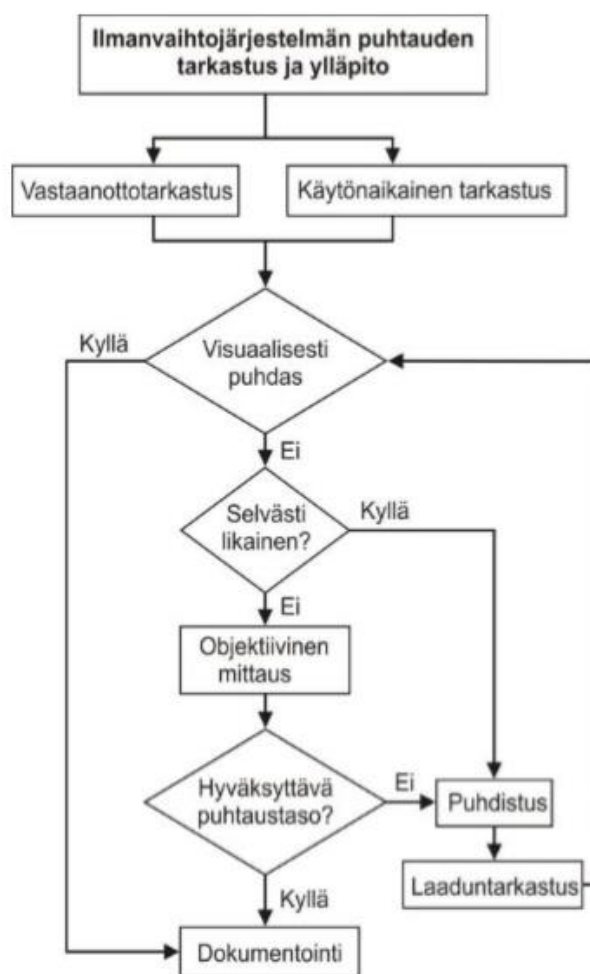
Kuten muissakin erikoistiloissa, painesuhteiden haitalliset vaihtelut muuhun rakennukseen nähden riippuvat väliseinien tiiviyydestä ja automaation oikeasta toiminnasta. Haitalliset vaikutukset ovat yleensä sitä suurempia, mitä vanhempi eristystila on kyseessä, tiiviydellä on suuri vaikutus eristystilojen paine-erojen leviämisen hallinnassa. (Salmi ym.

2012.) On suositeltavaa myös toteuttaa tilojen tiiveysmittauksia, jos ongelmia epäillään. (Salmi ym. 2012.)

## **7 Kanaviston puhdistus**

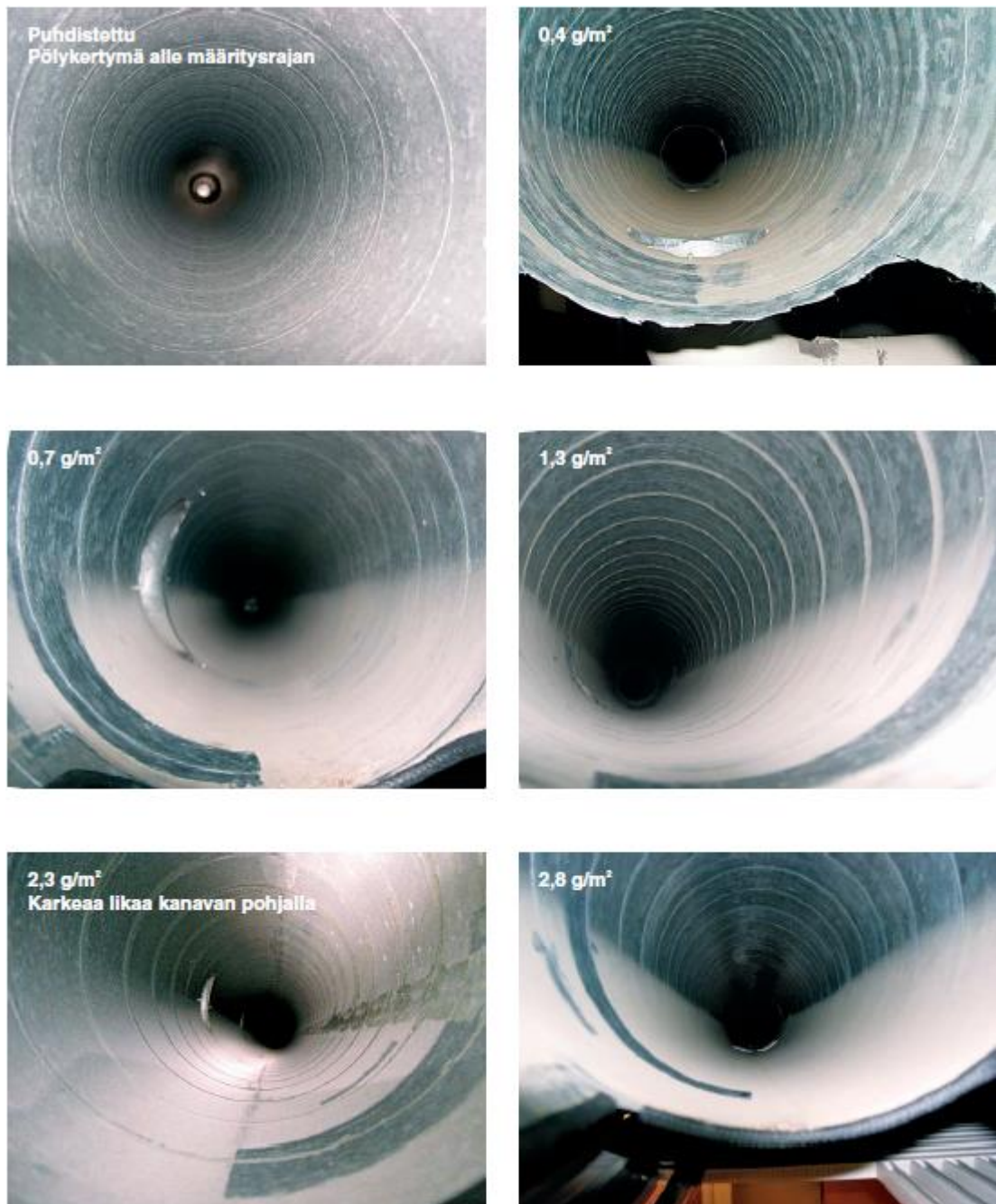
### **7.1 Puhdistustarpeen arviointi ja puhdistus**

Sairaaloiden ilmanvaihdon puhtauden vaatimukset ovat normaalitilojen ilmanvaihtoa tiukemmat ja koko järjestelmän likaantumista ja puhdistustarvetta on seurattava säännöllisesti (kuva 20). Likaantuminen vähentää rakennuksen ilmavirtoja ja kaikista nopeimmin likaantuvat poistoilmaventtiilit ja poistokanava. Myös tuloilmakanavisto likaantuu ja suodattimen rikkoutumiset, ohivuodot tai heikkotasoiset suodattimet nopeuttavat likaantumista. Ilmanlaadun kannalta tuloilmakanavan puhtaus on poistokanavaa tärkeämpää, poistokanaviston puhtautta seurataan kuitenkin pelastuslain nojalla paloteknisten syiden vuoksi. Puhdistuksen yhteydessä tarkastetaan myös palonrajoitinten kunto ja kanaviston tiiviys. Pelastuslaki 379/2011 ei ota kantaa hygieniaan tai ilmanlaatuun, vaan tarkoituksena on ainoastaan tulipalon vaaran vähentäminen.



Kuva 20. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus ja ylläpito (SFS-EN Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus 2012)

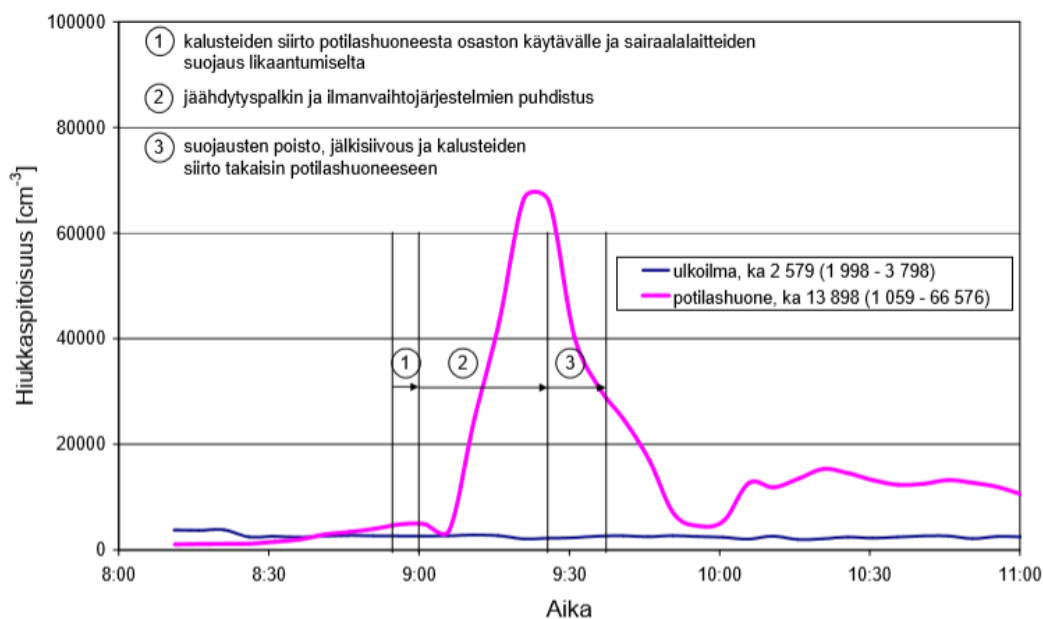
Järjestelmän puhtaus voidaan luokitella joko Sisäilmayhdistyksen kaksipuolaisella P1- ja P2-luokittelulla tai hieman tiukemmalla kolmiportaisella ilmanvaihtolaitteiston puhtaudesta määräävän standardin SFS-EN 15780 -luokituksella, jossa on sairaalailmanvaihdolle oma muuta ilmanvaihtoa tiukempi epäpuhtausrajansa. Tällä hetkellä sairaalailmanvaihtoon sovelletaan Sisäilmayhdistyksen luokittelua ja sen puhtaampaa luokkaa P1. Sisäilmayhdistyksen luokittelussa suurin sallittu keskimääräinen pölynkertymä luokassa P1 on 2,5 g/m<sup>2</sup>, kun taas puhtausluokassa P2 keskimääräinen pölynkertymä saa olla 5 g/m<sup>2</sup>. Puhdistetun tai uuden kanavan kohdalla epäpuhtauskertymän raja luokassa P1 on 0,7 g/m<sup>2</sup> ja luokassa P2 puolestaan 2,5 g/m<sup>2</sup> (Sisäilmaluokitus 2018).



Kuva 21. Erilaisia epäpuhtauskertymiä (Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus 2007)

Nykykäytäntö puhdistuksessa on poistokanavien puhdistus 5 vuoden välein. Tulo-kanavien puhtaus tarkastetaan samassa yhteydessä ja myös puhdistetaan tarvittaessa. Työn suorittavat suositusten mukaisesti työhön erikoistuneet yritykset (Holopainen ym. 2012.). Nykykäytäntö on vanhan vuonna 2006 kumotun sisäasianministeriön asetuksen 802/2001 mukainen. Asetuksessa määrättiin puhdistus tapahtuvaksi 1–5 vuoden välein. Keittiöissä tai muissa palavia aineita kanavistoihin kerryttävissä tiloissa käytetään lyhempää yhden vuoden aikaa, kun muissa kanavistoissa puhdistusväli oli 5 vuotta. Laki perustui tulipalovaaran ehkäisyyn eikä ottanut kantaa hygieniaan.

Nykyään voimassa oleva lainsäädäntö ei määrää tarkkoja puhdistusvälejä, vaan ainoastaan huolehtimaan, ettei aiheudu tulipalon vaaraa (Pelastuslaki 2011). Puhdistuksessa sovelletaan yhä silti vanhan lainsäädännön mukaista sykliä. Tulevaisuudessa voisi selvittää mahdollisuutta siirtyä käyttämään ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus standardin mukaista tapaa kanaviston puhtauden seurannassa ja puhdistuksessa. Siinä tuloilmakanaville on nykyistä tiukempi puhtausvaatimus, mutta toisaalta poistokanaviston suhteen löysempi. Puhtauden ja hygienian seuranta on enemmän tarkastus painotteista kuin nykyään käytössä olevassa mallissa. Kanaviston likaantuminen on kuitenkin hyvin tapauskohtaista ja siihen niin suodatus kuin ilmanottoaukkojen sijainti että sisällä syntyvät epäpuhtaudet. Tarkastuspainotteisella mallilla olisi mahdollista saada sekä säästöjä, että mahdollisesti myös puhtaampaa tuloilmaa.



Kuva 22. Hiukkaspitoisuuden muutos puhdistuksen aikana eräässä potilashuoneessa (Holopainen ym. 2012.)

Puhdistustyössä vapautuu suuria määriä epäpuhtauksia ja onkin suositeltavaa suorittaa puhdistukset osastojen ollessa tyhjiä. (Holopainen ym. 2012.) Aina se ei ole mahdollista, ja kaikista varotoimista huolimatta puhdistustyö huonontaa ilmanlaatua hetkellisesti, joten turhaa puhdistusta olisi varmasti hyvä välttää. Puhdistus työn jälkeen ilmanvaihtoa käynnistettäessä ilmaan vapautuu suuri määrä pienhiukkaisia, joiden laskeutumiseen kuluu tunteja. Siivoustyö tulisikin suorittaa vasta tuon viiveen jälkeen. Nykykäytännössä puhdistusajat tiedetään reilusti etukäteen ja toteutus sekä suunnittelu ovat varmasti helpompaa. Standardin SFS-EN 15780 mukaan säännöllisesti tehtävä huolto antaa jo hyvää kuvaa järjestelmän puhtaudesta ja suodattimien sekä päätelaitteiden likaantumisesta voidaan päätellä puhdistuksen tarvetta, eikä tarkastusvälin tällöin tarvitse tällöin olla yhtä tiheä.

Mikäli on mahdollista luoda järjestelmä, jolla puhtautta lisäksi seurataan säännöllisesti puhdistusluukkujen kautta ja varsinainen puhdistustyö suoritetaan vasta tarvittaessa, saattaisi harvempi puhdistusväli kattaa tarkastuksien kustannukset. Ilmanlaatu voisi pysyä tasaisempana ja sairaalatoiminnalle aiheutua myös vähemmän häiriöitä. Standardin malli on kuitenkin luotu ennen kaikkea hygienian toteuttamiseksi, kun taas lainsäädäntö kanavien puhtauden seurannasta perustuu ainoastaan tulipalon riskin vähentämiseen, eikä sairaalailmanvaihdon erillispiirteitä tai hygienia-asioita ylipäättään ole siinä huomioitu.

## 7.2 Päätelaitteiden puhdistus

Huoneilmassa on pieniä määriä mikrobeita ja muita epäpuhtauksia jotka kerääntyvät huoneilmaa kierrättäviin jäähdytyslaitteisiin, joten niiden puhtauteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Suomalaisissa sairaaloissa tehtyjen havaintojen mukaan konvektorit on yleensä puhdistettava pari kolme kertaa vuodessa.

Jäähdytyspalkit eivät likaannu yhtä nopeasti, potilashuoneissa olevat likaantuvat kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin toimistorakennuksissa sijaitsevat. Potilashuoneissa



olevien jäädytyspalkkien puhdistustarve on tarkastettava 1–2 vuoden välein, kun toimistorakennuksissa riittävä väli on 2–5 vuotta. (Holopainen ym. 2012)

## 8 Pitkän aikavälin suunnitelma PTS

Kiinteistönhoidolla vaikutetaan koko rakennuksen elinkaaren pituuteen, kiinteistönhoito ja ylläpitoprosessi tuottavat jatkuvasti tietoa korjaustarpeista ja pyrittäessä häiriöiden minimointiin on tuon tiedon kerääminen sekä hyödyntäminen ennakoivissa huolto- ja korjaustoimissa on ensiarvoisen tärkeää. Kiinteistön ja sen tekniikan elinkaarenaikainen hallinta ja tarvittavat kunnossapidot ja korjaukset voidaan toteuttaa taloudellisemmin ja vähemmän häiriöitä aiheuttaen, mikäli niitä onnistutaan ennakoimaan paremmin. Rakennuksen elinkaarenaikaisista kustannuksista valtaosa muodostuu käytön aikana ja häiriöttömän sairaalatoiminnan näkökulmasta on painoarvoa annettava kustannusten lisäksi ennakoimattomien korjausten vähenemiselle. Korjauksien parempi ennakoiminen ei pelkästään vähennä häiriöitä vaan usein myös kustannuksia (Myyryläinen 2008).

Perinteisesti suuri osa pitkän aikavälin suunnitelman laadintaan tarvittavista tiedoista on peräisin erilaisista kuntotutkimuksista. Kiinteistönhoidon prosessi tuottaa kuitenkin myös jatkuvaa tietoa korjausrakentamiseen ja pitkän aikavälin suunnitelman laadintaan (Myyryläinen 2008). Tuon tiedon hyödyntäminen ja ylös kirjaaminen on tärkeä osa ennakoivaa ylläpitoa. Kiinteistönhoitohenkilökunnan asiantuntemuksella on paljon annettavaa kuntoarvioita ja pitkän aikavälin suunnitelmaa laadittaessa. Huoltoasentajat seuraavat päivittäin vanhenevan ilmanvaihtolaitteiston kuntoa ja tekevät tärkeitä huomioita (Myyryläinen 2008). Onkin tärkeää saada tuo tieto talteen ja ennakoivan ylläpidon työkaluksi.

Kiinteistönhoidolla vaikutetaan koko rakennuksen elinkaaren pituuteen. Kiinteistönhoito ja ylläpitoprosessi tuottavat jatkuvasti ajantasaista tietoa korjaustarpeista, ja pyrittäessä häiriöiden vähentämiseen ja taloudellisuuteen on tuon tiedon kerääminen sekä hyödyntäminen ensiarvoisen tärkeää.



Pitkän aikavälin suunnitelma kertoo, milloin ja miten kiinteistön korjaushankkeet on ajateltu toteuttaa. Pitkän aikavälin suunnitelman aikajänne on yleensä vähintään kymmenen vuotta. Korjaushankkeita voivat olla esimerkiksi: lämpö-, vesi-, ilmastointi-, sähkö- ja teletekniikan korjaukset ja mahdollisten toiminnallisten tarpeiden kehittäminen ja rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen (Myyryläinen 2008).

Ilmanvaihhdossa ei perinteisesti ole suunniteltu korjauksia yhtä pitkälle tulevaisuuteen kuin esimerkiksi vesi- ja viemäripuolella. Jos kuitenkin halutaan minimoida toiminnalle aiheutuvat häiriöt, tulevien korjauksien parempi ennakoiminen on siihen yksi väline. Ideaalitulanteessa kunnossapidon projekteista suurin osa toteutettaisiin suunnitellusti aikataulutettujen ja suunniteltujen korjauksien avulla. Yllätyksiä aina tapahtuu ja kaikkea ei voi ennakoida, kuitenkin tämän hetken tilanteesta, jossa suurin osa ilmanvaihdon korjauksista tapahtuu investointilistan ulkopuolelta, olisi varmasti mahdollista siirtyä ennakoivampaan suuntaan.

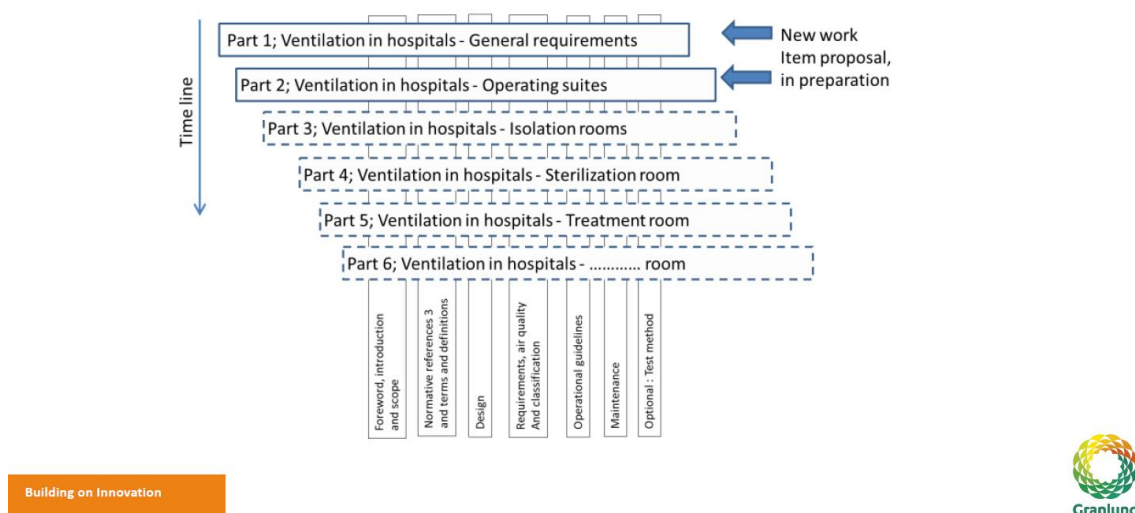
PTS-järjestelmää pitää pystyä hyödyntämään pidemmältä aikaväliltä kuin investointilistan aikajänne eli yksi vuosi. Huolto- ja tarkastustoiminta jaetaan usein kolmeen jaksoon eli kuukausi, vuosi ja kymmenen vuotta. PTS-ohjelma voidaan kuitenkin laatia myös pidemmäksi aikaa, 100 vuoden PTS-ohjelmaan kirjataan rakennusosien todennäköisiä uusimisajankohtia, rakennuksen runko voi kestää 200 vuotta, mutta suurin osa osista ja järjestelmistä kuluu loppuun 25 vuodessa. Kiinteistön elinkaariajattelussa suunnitellaan järjestelmien uusimisia jopa koko elinkaaren ajaksi.

Yksi tapa pyrkiä ennakoivampaan ylläpitoon ja ennakoimaan tulevia korjauksia pidemmälle aikavälille olisi täyttää korjausehdotuksia ennakoidusti teknisen tai suunnitellun käyttöiän päättymiseen perustuen jo heti järjestelmän vastaanottovaiheessa. Tekniset käyttöiät ovat tietysti keskiarvoja ja vain suuntaa antavia. Huoltokirjan PTS-järjestelmän käyttö ennakoivasti voisi kuitenkin antaa mahdollisuuden budjetoida ja suunnitella tulevia korjauksia tarkemmin. Teknisen käyttöiän päättymisen kautta annettu karkeakin arvio voisi mahdollisesti auttaa myös niputtamaan korjauksia taloudellisemmiksi kokonaisuuksiksi.

## 9 Tuleva standardi

Eurooppalainen ”Ventilation in Hospital” -standardi tulee määrittämään uudet vähimmäisarvot sairaalailmanvaihdolle ja puhtauden hallinnalle. Standardin ensimmäinen leikkaussaleja koskeva osa on valmistumassa, ja sitä sovelletaan jo uusien sairaaloiden suunnittelussa. Standardin jatko-osat tulevat selkeyttämään edelleen määräyksiä sairaalailmanvaihdon suunnittelusta, tarvittavista ja ylläpidettävistä ilmanvaihtoa koskevista dokumenteista, puhtauden ja hygienian valvonnasta. Julkiseen kommentointiin standardin kahden ensimmäisen osan odotetaan etenevän vuoden sisällä.

### Ventilation in Hospitals - standardiehdotus



Kuva 23. Uuteen sairaala-standardiin on odotettavissa lisäosia tulevaisuudessa (Vasara 2019)

Seuraavat osat koskevat eristystiloja, steriilitiloja ja toimenpidetiloja. Standardissa otetaan kantaa paitsi suunnitteluun, käyttöönottoon ja ylläpitoon niin myös tarvittaviin dokumentteihin. Ilmanvaihdon säätö- ja toimintakaaviot mittauspisteineen sekä hygienia-puhtaus ja huoltosuunnitelmat on standardin mukaan oltava saatavilla ja ajan tasalla.

Voimassaolevia ja sairaalan ilmanvaihtoon liittyviä standardeja ovat, GMP (Good manufacturing practices), puhdistilastandardi SFS-EN ISO 14644 sekä ilmanvaihtojärjestelmän komponentteihin liittyvät useat eri standardit.

## 10 Luotettavuus

Ulkopuolisen toteuttamana toimintatutkimus asettaa haasteita tiedon suurelle määrälle ja tutkimuksen luotettavuudelle siinä, päästäänkö lyhyessä ajassa tarpeeksi syvälle ja onko ilmiöstä lyhyessä ajassa saatu tieto tarpeeksi luotettavaa. Toimintatutkimuksessa tekijän kuulumisesta tutkittavaan työyhteisöön on esitetty myös kritiikkiä, on epäilty työyhteisön perinpohjaisen tuntemisen estävän asioiden näkemistä uudella tavalla (Kananen 2014). Tältä kannalta katsottuna ulkopuolinen tekijä on etu.

Tutkimusotteen ja siihen liittyvien menetelmien tärkein tavoite on kohteena olevan ilmiön tavoittaminen. Tutkimusotteeksi valikoitui laadullinen eli kvalitatiivinen menetelmä, sen sopiessa parhaiten suhteellisen vähän tutkittuun aiheeseen eli sairaalaympäristön ilmastoinnin ylläpitoon. Pääsääntönä tutkimusotteen valinnassa kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen välillä pidetäänkin etukäteen saatavilla olevaa tiedon määrää (Kananen 2014). Luotettavuutta pyrittiin parantamaan keskustelemalla valitusta teemasta kunkin asiantuntijan kanssa suhteellisen vapaasti, koska tarkkojen tutkimuskysymysten laadinta ilman tutkimusongelman aikaisempaa tuntemista saattaisi rajata tärkeitä yksikohtia tutkimuksen ulkopuolelle.

Haastattelut myös nauhoitettiin, ja yhden haastattelun alkua lukuun ottamatta nauhoitusten äänenlaatu oli hyvä. Nauhoitukset litteroitiin kokonaisuudessaan. Tekijä pyrki tietoisesti myös suhtautumaan asiaan objektiivisesti. Seuranta ja väliarviointia toteutettiin ensin tutustumalla pintapuolisesti useisiin kymmeniin ilmanvaihtokoneisiin ja lopulta teemmällä perusteellinen tutkimus ja huolto hallintorakennuksen koneelle HAHTK04. Väliarvioinnissa saatiin useita vahvistuksia tehdyille huomioille ja uudelle huollon sisällölle.

Luotettavuus mittaa työn laatua, ja tulosten jo alkaessa hahmottua löytyi vielä lisää havaintoja tukevaa teoriaa ja tutkimus tietoa, joten tutkimuksen luotettavuuden voi ajatella olevan hyvällä tasolla. Validiteetin, eli onko tutkittu oikeita asioita, ja reliabiliteetin eli päästäisiinkö uudessa tutkimuksessa samaan tulokseen, voisi ajatella olevan hyvällä tasolla ja tehdyt väliarvioinnit tukevat tätä käsitystä.

## 11 Päätelmät

Työn aihe oli laaja, eikä kaikkiin aiheisiin siksi ollut mahdollista mennä kovin syvälle. Tutkimuksen ja opinnäytetyön aikana saatiin kuitenkin vahvistusta käsitykselle uuden ja entistä yksityiskohtaisemman määräaikaishuollon mahdollisuuksista vaikuttaa vähentävästi sairaalan toimintaa häiritseviin ennakoimattomiin häiriöihin. Työn edetessä löytyi yhä enemmän tukea käsitykselle aikaisempaa laadukkaamman ylläpidon mahdollisuuksista vaikuttaa sisäilmanlaatuun ja sitä kautta työ- sekä potilasolosuhteisiin ja myös suoraa yksittäisiä tehtäviä lisättäväksi huollon sisältöön. Uuteen huoltosisältöön tulee enemmän ja aikaisempaa yksityiskohtaisemmin rakennusautomaatioon liittyvää huoltoa, kuten järjestelmää säättävien mittauspisteiden kalibrointia ja suodattimien uusien materiaalien myötä muuttuneiden painehäviöiden ohjelmoimista rakennusautomaation suodatinvahteihin.

Tiedon kulun ja havaintojen raportoinnin täytyy olla yksityiskohtaista, jotta kaikki tarvittava välittyy eteenpäin, niin oman väen kuin sopimusurakoitsijoiden kesken. Raportointi toimii osin hyvin jo tälläkin hetkellä, kuitenkin yhtenäinen käytäntö saattaisi helpottaa korjauksien suunnittelua ja todenmukaisen kuvan luomista laitteiston kunnosta. Uusi käyttöön otettava huoltokirja-applikaatio auttaa varmasti tässä asiassa. Sairaalaympäristössä vaatimukset ylläpidolle ovat normaalia suuremmat ja ylläpidon täytyy myös kehittyä laitteiden ja ympäristön mukana.

Tulevaisuudessa määräaikaishuoltojen huoltojen aikataulut ja sijoittuminen tasaisesti läpi vuoden saattaa tarvita tarkastelua. Ennen kaikki huoltoasentajat tekivät kaikkea työtä, mutta uudistusten myötä osa keskittyy ilmanvaihtoon ja tekee pelkästään sitä tulevaisuudessa. Ilmanvaihdon huoltoja tekeviä asentajia on aikaisempaa vähemmän, ja töiden täytyy vuoden sisällä ajoittua aikaisempaa tasaisemmin, jotta halutuista työaika-tilausta pystytään pitämään kiinni.

## Lähteet

Asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. 2018. 538/21.6.2018.

Asetus rakennuksen ääniympäristöstä. 2019. 360/22.3.2019.

Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.

Asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. 2017. 1009/20.12.2017.

Asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. 545/23.4.2015

Eloranta, Jouko. 2019. Ilmanvaihto laboratorioissa ja erikoistiloissa. luento materiaali. Helsinki: Fanison Oy.

Enbom, Seppo; Heinonen, Kimmo; Kalliohaka, Tapio; Mattila, Inga; Nurmi, Salme; Salmela, Hannu; Salo, Satu & Wirtanen, Gun. 2012. High-tech sairaala -- Korkean hygienian hallinta sairaalassa. Tampere: VTT Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Eskola, Lari. & Björkroth, Marko. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje – projektin loppuraportti, Espoo: Ympäristöministeriö.

Heinilä, Harri. 2013. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton hankinta- ja käyttökustannusten optimointi. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Holopainen, Rauno; Kähkönen, Erkki; Salmi, Kari; Hellgren, Ulla-Maija; Hintikka, Eeva-Liisa; Reijula, Kari; Asikainen, Vesa; Peltonen, Matti & Pasanen Pertti. 2012. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistaminen sairaaloiden vuodeosastoilla. Helsinki: Työterveyslaitos.

Holopainen, Rauno; Pasanen, Pertti; Railio, Jorma; Säteri, Jorma & Virranta, Petteri. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Helsinki: Opetushallitus.

HUS Kiinteistöt, 2018. Vuosikertomus 2018, Helsinki: HUS Kiinteistöt.

Ilmanlaatu Suomessa. 2020. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>>. Luettu 10 4 2020.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus. 2007. LVI 39-10439. Rakennustieto Oy.

Kananen, Jorma. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 134. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, Jorma. 2014. Toimintatutkimus kehittämistutkimuksen muotona. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 185. Jyväskylä: Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.

Korhonen, Pirjo. & Reijula, Kari. 2009. Terve sairaala -peruskorjausten tarve ja toteutus. Helsinki: Työterveyslaitos.

Korkala, Tapio. 2016. Ilmastointi hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalankustannus Oy.

Kärki, Satu. & Hyvärinen, Juhani. 1997. Ilmastointikoneen suorituskyvyn seuranta. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Kärki, Satu. & Karjalainen, Sami. 1999. Ilmastointijärjestelmän vikadiagnostiikka, Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Myyryläinen, Leevi. 2008. Elinkaariajattelu kiinteistöpidossa. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.

Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2019. Helsinki: FIN-VAC.

Pelastuslaki. 2011. 379/29.4.2011.

Rakennusten säätölaitteiden käyttö ja huolto. 1994. LVI 49-10234. Rakennustieto Oy.

Reijula, Kari. 2005. Sairaaloiden kunto ja ilmanvaihto – Selvityshenkilön raportti. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Rintamäki, Hannu; Pääkkönen, Rauno & Koskela, Hannu. 2014. Tavoitetasoperustelu-muistio – Lämpöolot. Helsinki: Työterveyslaitos

Salmi, Kari; Kähkönen, Erkki; Holopainen, Rauno & Reijula, Kari. 2012. Ilmaväliteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa – loppuraportti. Helsinki: Työterveyslaitos.

Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja Ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka 1. Tampere: Talotekniikka-julkaisut Oy.

Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Tampere: Talotekniikka-julkaisut Oy.

Seppänen, Olli. & Seppänen, Matti. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy

SFS 5768. Ilmastointijärjestelmän säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset. 1993. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 15780. Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus. 2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 15251 Sisäympäristön lähtötiedot energiantehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14644 Puhdastilat ja puhtaat alueet. 2015. Osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 16890 Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. 2016. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM). Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 378 kylmäkoneistot ja lämpöpumput Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. 2016. Osa 2: Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 16798 Rakennusten energiatehokkuus. 2017. osa 5-1: Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien energiavaatimusten laskentamenetelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 16798 Rakennusten energiatehokkuus. 2017. Osa 17: Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien määraaikaistarkastusohjeet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 14175 Vetokaapit. 2003. Osa 2 turvallisuutta ja suorituskykyä koskevat vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Sisäilmaluokitus, 2018. Espoo: Rakennustietosäätiö

Suonmaa, Valtteri. 2014. Asuntojen ilmansuodatuksen terveyshyödyt. Tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta.

Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. Verkkoaineisto. Talotekniikka info. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/6-ss-sisailman-kosteus>>. Luettu 20.3.2020

Vasara, Jukka. 2019. Erikoistilojen LVI-tekniikka 2019, Metropolia, luento, Helsinki

## Liite 1 Iv-määräaikaishuolto kevät/syksy, tehtäväluettelo

	Ennen koneen sammuttamista kuuntelu, havainnointi ja tiiviysien tarkastelu kuten kuukausihuolloissa.				
	Tarkistetaan huollon aikana kaikkien osastojen, ovien, kanavien ja putkien tiiveys ja puhtaus, kondenssiviemärintien toiminta				
	Tarkastetaan teknisen tilan siisteys ja puhdistetaan tilan ilmanvaihtoventtiilit				
	Puhdista ulkoilmasäleiköt kaikista roskista ulko- ja sisäpuolelta				
<b>Suodattimet</b>	Käytä moottoroitua hengityssuojainta ja ylipainemaskia sekä hansikkaita				
	Varmista suodatintien oikea tyyppi ennen asentamista, tilaa lopuksi uudet suodattimet, vie liikkeet pois				
	Puhdista suodatin kammiot ja kiinnityskiskot imuroimalla ja nihkeän kostealla rätillä				
	Tarkista suodattimien tiiveys ( uudessa suodattimessa on oltava paine-eroa )				
	Tarkasta ovien ja salpojen toiminta ja tiiviydet				
	Tiivistä kaikki vuotokohdat kehyksistä ja ovista.				
	Varmista puhtaan suodattimen painehäviön täyttyminen				
	Kirjaa ylös puhtaansuodattimen toteutunut painehäviö koneen käynnistämisen jälkeen				
	Laske tarvittaessa liikkeiden suodattimen painehäviö ja kirjaa ylös				
	Pakkaa vanhat suodattimet pussiin ja kuljeta jätepiesteeseen				
<b>Puhaltimet</b>	Puhallin kammioiden imurointi				
	Puhallinlapojen puhdistus tarvittaessa pirtulla tai vaahdolla				
	Puhaltimen laakereiden ja laakeritiivisteiden kunnon tarkastus ja mahdollinen voitelu. (vaihto tai ilmoitus vaihtotarpeesta)				
	Sähkömoottorin ilmanottoaukkojen ja kotelon puhdistus				
	Sähkömoottorin käyntiäänen, lämpötilan ja laakereiden tarkastus				
	Puhaltimen ja tuloilmakammion välisen tiiviyden tarkastus				
	Tärinävaimennuskumien tarkastus ja vaihto, puhaltimen kiinnityksen tarkastus, pyörimissuunnan tarkastus, tarviiko?				
	Virtausvahdin kunnon ja toiminnan tarkastus				
<b>Hihnat</b>	Kiilahihojen ja hihnapyörien kunnon tarkistus ja hihnojen kireyden ja linjauksen tarkastus (vaihto tai ilmoitusvaihtotarpeesta)				
	Kiilahihojen vaihdoissa merkkää päivämäärä ylös, uusi hihna venyy seuraavalla huollolla kiristys				
	Hihnapyörien vaihto				
	Luukkujen ja salpojen toiminta tiiviys				
<b>Äänenvaimennin</b>	tarvittaessa Imurointi varovasti harjapäällä metalliritilän päältä				
	raportointi mikäli mineraalivillan pinnoite on vaurioitunut tai huonokuntoinen				
	Kaikista täysin pinnoittamattomista mineraalivilla havainnoista raportointi missäpäin järjestelmää tahansa				
<b>Moottoripellit</b>	Tarkastetaan sulkeutuuko tiivistä ja aukeaa kokonaan				
	puhdistetaan roskat ja pyyhkitään nihkeällä rätillä				
	Tarkasta tuloilmapiellistä jousipalautuksen toiminta				
	Tarkasta toimimoottorien toiminta, kotelon kunto ja tiivisteet, voitele tarvittaessa vetopyörästä				
<b>Lämmityspatterit</b>	Tarkastetaan puhtaus ja mahdolliset vuodot				
	Puhdistetaan, ilmataan ja lamellit suoritetaan tarvittaessa lamellikammalla.				
	Pumpun toiminta, kunto ja käyntiääni				
	Putkiliitosten tiiveyden tarkastus				
	Säätöventtiilin ja yksiusuntaventtiilin kunto ja ääni				
	Ovien ja salpojen tiiveys ja toiminta, tiivistys tarvittaessa				

Kuva a) Ilmanvaihdon määräaikaishuollon tehtävälista osa 1



kuva b) ilmanvaihtokoneen määräaikaishuollon tehtävälista osa 2

## Liite 2 Puhdastilavaatetuksen pukeminen ja riisuminen

Ohjetta voidaan soveltaa leikkaussaleihin, lääkevalmistustiloihin ja eristystiloihin, aina noudatetaan tilasta vastuussa olevan henkilökunnan ohjeita, suojautumisen taso riippuu sovellettavasta puhtausluokituksesta. Henkilöstön tulee pukea puhdastilavaatetus ennen puhdastilaan astumista. Pukeminen ja riisuminen tehdään siten, että vaatetuksen ulkopinta ei kontaminoidu ja että kontaminaatio ei leviä pukeutumishuoneesta. Toimintamenettely alkaa päästä ja jatkuu alaspäin jalkoja kohti:

1. Poistetaan jalkineista lika (kenkäharja, puhdastilaliimamatto).
2. Poistetaan tarpeettomat henkilökohtaiset vapaa-ajan vaatteet.
3. Poistetaan korut ja kosmetiikka, jos tarpeen (kosteusvoide tarvittaessa).
4. Puetaan hiussuoja, jos tarpeen.
5. Pestään kädet (kosteusvoide tarvittaessa).
6. Puetaan puhdastila-sisävaatetus, jos on käytössä.
7. Puetaan puhdastilaan tarkoitetut sisäjalkineet tai jalkinesuojat.
8. Valitaan puhdastilavaatetus.
9. Puetaan käsineet puhdastilavaatetuksen käsittelyä varten, jos tarpeen.
10. Puetaan kasvo- ja pääsuojat.
11. Puetaan puhdastilahaalari tai muu puhdastilavaatetus.

12. Puetaan jalkinesuojat tai puhdastilajalkineet jakopenkkiä apuna käyttäen.
13. Varmistetaan, että kaikki vaatetuksen osat ovat kunnolla paikoilla ja säädettyt (peili).
14. Riisutaan pukeutumisessa apuna käytetyt käsiineet ja puetaan prosessissa käytettävät käsiineet.
15. Astutaan puhdastilaan.

## Liite 3 Tyypillisiä vikoja ilmanvaihtokoneen komponenteissa

KOMPONENTTI	VIKA	OIRE
Anturi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• anturipoikkeama (bias) <ul style="list-style-type: none"> <li>• anturi vikaantuu täydellisesti</li> <li>• anturi toimii yhä, mutta antaa virhenäyttämiä</li> </ul> </li> <li>• liukuminen (drift), anturipoikkeaman suuruus muuttuu jatkuvasti ajan mukana</li> <li>• väärä paikka</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• näyttö avoin tai vaihtelurajojen ulkopuolella</li> <li>• yllättävä epänormaali näyttö</li> <li>• hidas ja pysyvä muutos näyttämässä pitkän ajan aikana</li> <li>• huono energiatasapaino, valituksia käyttäjiltä</li> </ul>
Toimimoottori	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pneumaattinen vuoto venttiilien ja peltien toimimootoreissa</li> <li>• juuttuminen</li> <li>• ei aukea</li> <li>• ei sulkeudu</li> <li>• väärä avautuminen tai sulkeutuminen</li> <li>• ei-yhdistetyn liitännän taipuma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• säädettävän laitteen hitaus tai vasteettomuus ohjaukseen</li> <li>• säädettävän laitteen hitaus tai vasteettomuus ohjaukseen</li> <li>• epänormaali lämpötila-, paine- tai sijaintilukema</li> <li>• epänormaali lämpötila-, paine- tai ohjauslukema</li> <li>• heilahteleva lämpötila tai paine tai ohjauslukema</li> <li>• epänormaali lämpötila-, paine- tai ohjauslukema</li> </ul>
Venttiilit ja pellit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• juuttuminen</li> <li>• ei aukea</li> <li>• ei sulkeudu</li> <li>• vuoto</li> <li>• venttiilin laakerin vika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> <li>• epänormaali sekoitetun lämpötilan lukema</li> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> </ul>
Rele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• patterin vika</li> <li>• kosketin ei toimi</li> <li>• kosketin ei vapaudu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> <li>• epänormaali venttiilin tai pellen asento tai niiden tilatieto</li> </ul>
Moottori	<ul style="list-style-type: none"> <li>• täydellinen vioittuminen</li> <li>• huonontunut toiminta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• epänormaali tilatieto, virta ei toiminta-alueella</li> <li>• moottorin liiallinen energiankulutus</li> </ul>

kuva a) Tyypillisiä ilmanvaihtokoneen vikoja 1 (Kärki & Karjalainen 1999)

KOMPONENTTI	VIKA	OIRE
Pumppu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vuoto</li> <li>• ei pumpppaa</li> <li>• kavitointi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• virtauksen paine toiminta-alueen ulkopuolella</li> <li>• toiminta muuttuu portaittain</li> </ul>
Patteri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• virtauksen tukkeutuminen</li> <li>• vuoto</li> <li>• jäätynyt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• virtauksen paine toiminta-alueen ulkopuolella</li> <li>• äkillinen epänormaali lämpötilan tai virtauksen muutos</li> </ul>
Suodatin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• virtauksen tukkeutuminen</li> <li>• automaattinen väliaineen syötön vika</li> <li>• paine-eromittauksen vika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• virtauslukema toiminta-alueen ulkopuolella</li> <li>• suodattimen painelukemat toiminta-alueen ulkopuolella</li> <li>• suodattimen painelukemat toiminta-alueen ulkopuolella</li> </ul>
Putkisto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tukkeutuminen</li> <li>• vuoto</li> <li>• virheellinen eristys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• paine tai virtausmittaus toiminta-alueen ulkopuolella</li> <li>• liiallinen lämpötilan lasku</li> </ul>
Sähköjohdot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• yhteys poikki</li> <li>• huono maadoitus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jaksottainen tehosignaali</li> <li>• häiriöllinen signaali</li> </ul>
Säädöt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• liukuma (drift)</li> <li>• poikkema (bias)</li> <li>• pneumaattinen vuoto</li> <li>• ohjainyksikön tai liityntöjen sulkeuma</li> <li>• huojunta</li> <li>• asetusarvoa ei ylläpidetä</li> <li>• mikroprosessorivika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hidas ja jatkuva näytön muutos</li> <li>• äkilliset epänormaalit näytöt</li> <li>• hidas tai epänormaali näyttö ja vaste</li> <li>• epänormaali näyttö ja vaste</li> <li>• toistuva näytön heilahtelu lyhyen ajan kuluessa</li> <li>• epänormaali lukema</li> <li>• äkillinen epänormaali ohjaus tai ohjauksen puute</li> </ul>
Puhallin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jänniteimpulssit</li> <li>• sakkaus</li> <li>• pyörii väärinpäin</li> <li>• hihna poikki</li> <li>• laakerivika</li> <li>• nopeussäädön vika</li> <li>• tilavuussäädön vika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• epänormaali ja heilahteleva painelukema</li> <li>• epänormaali paine- tai virtauslukema</li> <li>• epänormaali paine- tai virtauslukema</li> <li>• epänormaali paine- tai virtauslukema</li> <li>• epänormaali paine- tai virtauslukema</li> <li>• liiallinen energiankulutus</li> <li>• liiallinen energiankulutus</li> </ul>
Teho	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sähkötehon syötön keskeytys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• signaali tai teho puuttuu</li> </ul>

Kuva b) Tyypillisiä ilmanvaihtokoneen vikoja 2 (Kärki & Karjalainen 1999)